



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б. Н. Ельцина

**Институт  
материаловедения  
и металлургии**

**К. Г. ЗЕМЛЯНОЙ  
И. А. ПАВЛОВА**

# **ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА**

Учебно-методическое пособие

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Земляной К. Г., Павлова И. А.

# **ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА**

(Учебно-исследовательская  
и научно-исследовательская  
работа студента)

Рекомендовано методическим советом УрФУ  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов, обучающихся по специальности  
240304 — Химическая технология тугоплавких неметаллических  
и силикатных материалов по направлению  
240100 — Химическая технология

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2015

УДК 001.891+62-047(075.8)

ББК 72с9я73+30с9я73

3-53

Составители:

**К. Г. Земляной, И. А. Павлова**

Рецензенты:

**Л. В. Узберг**, зав. лабораторией ОАО «ВНИИМТ» (НИИ металлургической теплотехники), канд. техн. наук, ст. науч. сотр.;

**Э. Г. Вовкотруб**, ст. науч. сотр. лаборатории электрохимического материаловедения Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН, канд. техн. наук

Научный редактор д-р техн. наук, проф. **И. Д. Кашеев**

3-53      Основы научных исследований и инженерного творчества (учебно-исследовательская и научно-исследовательская работа студента) : учебно-методическое пособие по выполнению исследовательской работы / сост. К. Г. Земляной, И. А. Павлова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 68 с.

ISBN 978-5-7996-1388-4

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов всех форм обучения по направлению 240100 Химическая технология профили: Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, Химическая технология материалов и изделий электроники и нанoeлектроники, Химическая технология огнеупорных материалов и изделий. Пособие может быть использовано студентами других направлений.

Подготовлено кафедрой химической технологии керамики и огнеупоров.

Библиогр.: 25 назв.

УДК 001.891+62-047(075.8)


ББК 72с9я73+30с9я73

ISBN 978-5-7996-1388-4

© Уральский федеральный  
университет, 2015

# Введение

---

сновы научных исследований и инженерного творчества (ОНИиИТ) — одна из дисциплин учебного процесса, в которой сочетаются обучение и практика, которая предполагает решение студентами творческих исследовательских задач с заранее неизвестным результатом, предполагающим наличие основных этапов, характерных для научного исследования.

Учебно-методическое пособие может быть использовано в рамках дисциплин бакалавриата — «Основы научных исследований и инженерного творчества», магистратуры — «Научно-исследовательская работа», специалитета — «Учебно-исследовательская работа студента».

В рамках научной работы студент сначала приобретает первые навыки исследовательской работы, затем начинает воплощать приобретенные теоретические знания в исследованиях, так или иначе связанных с практикой, а в конце этого длительного процесса возможно участие в научных конференциях и симпозиумах разного уровня, включая международные.

Исследовательская работа студентов является действенным средством повышения качества подготовки выпускаемых высшей школой специалистов и должна проводиться в тесной связи с учебным процессом как его неотъемлемое продолжение. Студент обретает навыки теоретического осмысления своей профессиональной деятельности, самостоятельность суждений, умение концентрироваться, постоянно обогащать собственный запас знаний, обладать многосторонним взглядом на возникающие проблемы. Занятие учебной и научно-исследовательской работой дисциплинирует студента, помогая ему полнее освоить основные профессиональные дисциплины. Одновременно студент приобретает навыки получения и обработки научной информации, оформления научно-технической документации (лабораторного журнала, отчета, статьи).

Исследовательская работа также дает возможность каждому студенту определиться с индивидуально-личностными возможностями продолжения научных исследований в рамках аспирантуры и докторантуры и научиться отвечать требованиям, предъявляемым сегодня к ученому.

# 1. Общие положения

---

## 1.1. Цели и задачи ОНИиИТ. Требования государственного стандарта высшего профессионального образования

---

**В** своей практической деятельности выпускнику часто приходится трудиться в исследовательских подразделениях корпораций и предприятий, научных организациях промышленных отраслей или Российской академии наук, в заводских лабораториях, занимающихся совершенствованием производств, а также заниматься оценкой и экспертизой исследовательских работ, составлять задания на исследовательские работы. Это требует приобретения навыков в проведении исследовательской работы еще во время обучения в университете. Выпускник должен владеть основами закономерной взаимосвязи структуры и свойств материалов, методами оценки достоверности и качества испытаний и исследований, физическими принципами работы приборов и машин, их технологическими и эксплуатационными параметрами. Учебно-исследовательская работа является одним из видов профессиональной деятельности выпускника направления 240100. Выпускник должен уметь поставить цель и сформулировать задачи, связанные с выполнением профессиональных функций, уметь использовать для их реализации методы изученных им дисциплин.

Проведение исследовательской работы ставит своей задачей вовлечение студентов в научные исследования.

Основной **целью** ОНИиИТ является развитие способности и готовности к самостоятельному осуществлению научно-исследовательской работы, связанной с решением сложных профессиональных задач в инновационных условиях. **Задачами** ОНИиИТ является:

- углубление и закрепление теоретических знаний по направлению, получение практических навыков работы;
- овладение современными методами научного исследования, техникой эксперимента, приборами и оборудованием;

- развитие практических навыков самостоятельного поиска научно-технической информации, ведения теоретической и экспериментальной работы;
- приобретение умения анализировать результаты исследования и формулировать выводы и рекомендации;
- подготовка к курсовому и дипломному проектированию.

## 1.2. Место и объем ОНИиИТ

Дисциплина ОНИиИТ в рамках бакалавриата включает в себя лекционный курс и лабораторный практикум в виде учебно-исследовательской работы в 8 семестре бакалавриата. Научно-исследовательская работа магистра длится с первого по четвертый семестр.

В седьмом семестре, как правило, работа заключается в составлении литературного обзора по тематике исследовательской работы.

Исследовательская работа как составная часть учебного процесса должна охватывать весь период обучения. Очевидно, что ее формы и содержание от начальных к старшим курсам должны отличаться. Так, на начальной стадии упор делается на приобретение навыков работы с научной и технической литературой, на знакомство с техникой эксперимента, методами применения математической статистики для обработки результатов наблюдений при выполнении обязательных лабораторных работ, на ознакомление с научными направлениями выпускающей кафедры и т. д. Ознакомление с теорией и практикой эксперимента и выполнение самостоятельного исследования с оформлением научной документации целесообразно на второй стадии. Для отдельных способных студентов научно-исследовательская работа может начинаться и на III курсе. Все отмеченное указывает на необходимость организации поэтапного научного обучения студентов.

В соответствии с общей целью организации научно-исследовательской работы как важного средства повышения качества подготовки специалиста и указанными выше задачами можно наметить ее следующие формы:

- Составление литературных обзоров (рефератов) по отдельным научным проблемам, над которыми работает кафедра, по экспериментальным, полупромышленным и промышленным установкам, по новейшим достижениям науки и техники в области специальности и т. д.
- Изучение основ математической статистики и применение ее для обработки результатов наблюдений, полученных на кафе-

дре или взятых на предприятии. Выполнение специальных расчетов с использованием методов высшей математики.

- Изучение основ теории эксперимента (математическое планирование, обработка первичных данных, получение общих математических зависимостей и т. д.).
- Выполнение заданий научно-исследовательского характера в период практики (составление графика работы технологического аппарата или узла, проверка нового технологического режима, снятие баланса продукта, социологические исследования и т. д.).

Плановой учебно-исследовательской работой студенты **бакалавриата** занимаются в часы, включенные в расписание занятий, а также в часы, выделенные на самостоятельную работу. ОНИиИТ проходит в учебных и научных лабораториях кафедры, научно-технических библиотеках, в компьютерных классах с выходом в Интернет, на предприятиях и в научно-исследовательских институтах.

Темы и планы исследований предлагаются студентам преподавателями, как правило, в ходе учебной и производственной практики после 2-го или 3-го курса. Это позволяет студентам использовать и приборы, и установки лабораторий заводов и исследовательских институтов.

Если дипломная работа носит исследовательский характер, то ее тема обычно совпадает с темой ОНИиИТ и весь экспериментальный материал, накопленный при выполнении исследовательской работы в рамках ОНИиИТ, присоединяется к содержанию дипломной работы. Руководитель работы может предложить комплексную тему для разработки несколькими студентами.

Для приобретения студентами навыков коллективной исследовательской деятельности исследовательская работа может выполняться научными бригадами из нескольких человек. Формирование бригад, распределение тем и руководителей ОНИиИТ, контроль за ходом ОНИиИТ и организация защит осуществляется ответственным за научно-исследовательскую работу студентов на кафедре.

Научно-исследовательская работа в рамках **магистратуры** проводится с первого по четвертый семестр на кафедре или на предприятиях и в научно-исследовательских институтах в часы, включенные в расписание. Темы научно-исследовательских работ предлагаются студентам в первые две недели обучения первого семестра и должны утверждаться на заседании кафедры с внесением ее в индивидуальный план работы. Тематика научно-исследовательской работы должна соответствовать теме магистерской диссертации студентов.

### 1.3. Задание на ОНИИИТ

---

Задание содержит следующие разделы:

- Тема работы,
- Содержание работы,
- Цель и исходные данные,
- Содержание отчета,
- Перечень графического материала,
- Исходные библиографические источники,
- Основные этапы и сроки их выполнения.

В разделе «Тема работы» приводится краткая формулировка темы исследования (теоретическое или экспериментальное исследование явления, процесса, прибора, системы или разработка алгоритмов программ, методик и т. п.).

В раздел «Содержание работы» включаются аналитический обзор литературы, теоретические исследования, экспериментальные исследования и т. д.

В разделе «Цель и исходные данные» указываются цель и задачи работы, исходные данные, требования к условиям проведения экспериментов, методы и методики проведения экспериментов.

В разделе «Содержание отчета» приводится перечень разделов, которые должны присутствовать в отчете.

В разделе «Перечень графического материала» указываются плакаты, необходимые для защиты ОНИИИТ (схемы алгоритмов программ, графики, таблицы и т. п.).

В разделе «Исходные библиографические источники» приводится рекомендованная руководителем литература (статьи, патенты, отчеты о НИР и т. д.).

В разделе «Основные этапы и сроки их выполнения» указываются основные этапы работы и намечаются сроки их выполнения.

### 1.4. Организация ОНИИИТ на кафедре

---

Руководство исследовательской работой бакалавра поручается преподавателям, аспирантам, научным сотрудникам и инженерам кафедры с достаточным опытом и квалификацией. Руководителями могут быть также специалисты из других организаций и учреждений. Руководителями НИР магистрантов могут быть профессор или доцент кафедры, принимающий участие в реализации магистерской программы и имеющий ученую степень доктора или кандидата наук.



Руководитель ОНИИИТ несет ответственность за актуальность и соответствие тематики направлению 240100, организацию выполнения исследовательской работы. Руководитель исследовательской работы должен в течение первой недели семестра выдать задание на ОНИИИТ, которое должно быть утверждено заведующим кафедрой к концу второй недели. В ходе ОНИИИТ руководитель обеспечивает научное и методическое руководство студентами, консультирует их, контролирует сроки выполнения этапов исследовательской работы и дает предварительный отзыв на работу.

При разработке темы работы выдвигается конкретная задача исследования — исследовать свойства материала или влияния добавок на его свойства, определить оптимальные параметры процесса, разработать прогрессивную технологию, технологическую схему производства и т. д. К теме предъявляют ряд требований:

- актуальность (она должна быть важной, требующей разрешения в настоящее время);
- новизна (т. е. тема в такой постановке никогда не разрабатывалась и в настоящее время не разрабатывается);
- экономическая эффективность и значимость;
- соответствие направлению и профилю обучения;
- осуществимость и/или внедряемость.

Научно-исследовательская работа выполняется в соответствии с выданным руководителем и утвержденным на заседании кафедры заданием в сроки, определенные учебным планом. Задание оформляется на специальном бланке с указанием соответствующей основной литературы и объема работы с разбивкой ее по этапам (семестрам).

Работа начинается с всестороннего изучения полученного задания. На этом этапе студент знакомится с имеющимися на кафедре отчетами, публикациями, справочниками и методическими пособиями. Ведется информационный поиск. В результате студент должен получить полное представление о проблеме, о состоянии ее изученности, о путях и средствах решения и определить задачи исследования. После изучения и анализа литературных данных выбирается и обосновывается методика исследования. Дальнейшая работа ведется в соответствии с разработанным научным руководителем календарным планом, который включает следующие этапы:

- Знакомство с оборудованием и приборами, материалами, организация рабочего места.
- Подготовка исходных материалов и растворов, их анализ, подготовка к работе. Проверка и отработка методик получения образцов и исследования.

- Определение последовательности выполнения активного эксперимента. Математическое планирование эксперимента.
- Выполнение экспериментальной части; получение и обработка первичных экспериментальных данных.
- Оформление научного документа (научно-технический отчет, дипломная работа, статья для опубликования в печати, заявка на патент и т. д.).
- Защита законченного исследования (или его этапа).

Удельный вес каждого из перечисленных этапов определяется в процентах от общего объема работы. Длительность этапов в рабочих днях или часах устанавливается руководителем.

Необходимо помнить, что все этапы связаны между собой.

При выполнении работы необходимо строго соблюдать последовательность. Нельзя приступать к эксперименту, не убедившись в стабильной работе всех узлов оборудования и правильности выбранной методики исследования или метода химического анализа.

Результаты исследования по ходу работы должны обсуждаться с научным руководителем и на научных семинарах. Это даст возможность своевременно обнаружить ошибки, внести коррективы в план исследования, определить целесообразность постановки новых опытов.

По окончании этапа (раздела) работы оформляется отчет по научно-исследовательской работе по форме, удовлетворяющей требованиям ГОСТ на научную документацию. Оформление отчета является завершающим этапом научного исследования. Методике оформления научной документации посвящен специальный раздел настоящего пособия.

Студенты обязаны являться на консультации не реже одного раза в неделю в часы, назначенные преподавателем. Результаты текущей работы студента должны заноситься в рабочую тетрадь, которая предъявляется руководителю на консультациях для контроля и обсуждения.

За правильность всех сведений, изложенных в отчете, несет ответственность выполняющий исследовательскую работу студент.

Завершенный отчет по ОНИиИТ вместе с графическими материалами, подписанными студентом, представляются на предварительный отзыв руководителю.

Руководитель проверяет соответствие выполненной исследовательской работы заданию и дает общую оценку работы по четырехбалльной шкале («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»), учитывая степень самостоятельности студента при выполнении ОНИиИТ.

## 1.5. Тематика ОНИиИТ

---

Тематика ОНИиИТ должна быть связана с научными исследованиями, ведущимися на кафедре, а также с тематикой, предлагаемой промышленными, проектными и научными предприятиями и организациями. Желательно, чтобы тематика ОНИиИТ была увязана с профилирующими дисциплинами кафедры, тематикой курсового проекта и выпускной квалификационной работы. ОНИиИТ могут носить экспериментальный, экспериментально-теоретический или теоретический характер.

Выбор темы состоит из следующих этапов: разработка тематики, разработка плана проведения исследований.

В научно-исследовательской работе различают научные направления, проблемы и темы.

Под научным направлением понимают сферу научных исследований научного коллектива, посвященных решению каких-либо крупных, фундаментальных, теоретико-экспериментальных задач в определенной отрасли науки. Успех научной работы и ее эффективность во многом зависят от того, насколько удачно обосновано научное направление.

Выбор тематики учебно-исследовательской работы студентов должен быть связан со спецификой научных и технологических исследований, проводимых на кафедре, и может быть ориентирован по следующим направлениям:

- физико-химическое и технологическое исследование сырья и исходных материалов для силикатных производств;
- исследование физико-химических и технологических свойств неметаллических конструкционных и функциональных материалов и изделий;
- разработка, исследование и оптимизация малоотходных и ресурсосберегающих технологий получения неметаллических материалов и изделий с заданной структурой и/или свойствами, с использованием нетрадиционного, в том числе техногенного сырья;
- разработка, исследование и оптимизация методик определения физико-химических и технологических свойств и структуры неметаллических материалов и изделий;
- разработка, исследование и оптимизация методов синтеза новых неметаллических материалов.

## 2. Структура и содержание работы

---

**С**одержание ОНИиИТ определяется заданием, которое составляется руководителем.

Количество и содержание этапов зависит от конкретного направления и характера работы. Обязательными этапами являются проработка научной литературы и патентных материалов, а также анализ полученных результатов, формулирование выводов и рекомендаций, составление отчета.

Этап проработки научной литературы и патентных материалов включает в себя поиск информационных материалов, их изучение и анализ, формулирование выводов.

Отчет по ОНИиИТ включает в себя:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- основную часть, состоящую, как правило, не менее чем из трех разделов (обзора литературы, объектов и методов исследования, экспериментального раздела);
- заключение (выводы и предложения);
- список использованных литературных источников;
- приложения (при необходимости).

### 2.1. Титульный лист

---

Титульный лист оформляется в виде компьютерной распечатки или путем заполнения готовой формы.

Титульный лист является первой страницей отчета по ОНИиИТ и служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа.

На титульном листе приводят следующие сведения:

- наименование вышестоящей организации;

- наименование организации-исполнителя работы;
- наименование работы;
- наименование отчета;
- должности, фамилии и инициалы исполнителя и руководителя работы;
- место и дату составления отчета.

## 2.2. Содержание

---

Содержание включает введение, наименование всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование), выводы и предложения, заключение, список использованных источников и наименование приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы исследовательской работы.

## 2.3. Введение

---

Во введении должна содержаться краткая оценка современного состояния рассматриваемой научной или научно-технической проблемы и обосновываться необходимость проведения данной работы, основание и исходные данные для разработки темы. Также должны быть показаны актуальность и новизна темы, связь данной работы с другими ранее проводившимися исследованиями и перспективные направления ее развития. Введение должно быть кратким (1–3 страницы).

## 2.4. Первый раздел работы (обзор литературы)

---

Первый раздел ОНИиИТ, являющийся ее теоретической частью, должен содержать полное и систематизированное изложение состояния вопроса по теме исследовательской работы. Данный раздел по существу должен представлять собой аналитический обзор имеющихся литературных источников по исследуемой проблеме, позволяющий найти пути решения поставленных задач и выявить умение студента обобщать и критически рассматривать имеющиеся теоретические воззрения и экспериментальные данные.

Прежде чем приступить к обзору литературы, необходимо четко сформулировать идею, которую он должен в себе нести.

Сведения, содержащиеся в этом разделе, должны давать полное представление о состоянии и степени изученности поставленной в работе проблемы и, таким образом, о месте настоящего исследования в системе знаний по изучаемому вопросу. Более того, в обзоре литературы должна, по возможности, быть обоснована необходимость проведения исследования. Необходимо показать, что изучение затрагиваемого в работе вопроса, с одной стороны, актуально и перспективно, а с другой — еще не проводилось или проводилось в недостаточном объеме. Предметом анализа этого раздела должны быть идеи и проблемы, возникающие при решении поставленных в учебно-исследовательской работе целей, а также имеющиеся в научных публикациях экспериментальные данные, позволяющие правильно выбрать пути и методы решения поставленных задач.

Литературный обзор должен быть хорошо структурирован и написан научным языком.

Написание первого раздела работы (обзора литературы) проводится на базе предварительно подобранных литературных источников, в которых освещаются вопросы, в той или иной степени раскрывающие тему исследовательской работы. Подбор необходимой научной литературы проводится с использованием библиотечных каталогов, реферативных журналов, научных журналов по специальности и соответствующему научному направлению, а также монографий, учебников, справочников, нормативной документации, патентной литературы и других публикаций. Проводится ознакомление как с отечественной, так и с зарубежной литературой, опубликованной на разных языках.

Без личного ознакомления с оригиналом или квалифицированным переводом основываться на литературном анализе иностранной информации других авторов не рекомендуется, поскольку каждый автор прорабатывает литературу применительно к своей теме исследования. Кроме непосредственно относящейся к теме информации, необходимо проработать основную литературу по смежным направлениям.

Изучение литературных источников целесообразно проводить в определенном порядке, переходя от более простого к более сложному. Изучение литературных источников следует начинать с работ общего обзорного характера, а затем знакомиться с работами по более узкой тематике и узкопрофильным публикациям. Вначале следует ознакомиться с общетеоретической литературой (учебники, статьи в теоретических журналах), а затем с работами по прикладному направлению.

Поиски требуемых литературных источников следует проводить в обратном хронологическом порядке: т. е. вначале выявлять необходимые источники среди материалов, опубликованных в последние годы, а затем переходить к поиску более ранних публикаций (как правило, за последние 5–10 лет).

Особое внимание следует обратить на нормативно-техническую документацию, посвященную рассматриваемой проблеме и объектам исследования, патентную литературу и каталожные издания.

Значительно облегчает поиск необходимой информации использование Интернета: электронная библиотека РФФИ и ФНМ, электронная библиотека «Перспективные технологии», Государственная публичная научно-техническая библиотека России (ГПНТБ России), электронная библиотека «Материаловедение сегодня», Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ), Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) и др., однако следует избегать использования только электронных материалов.

Важное место в работе над литературными источниками должно занимать изучение «истории» вопроса. Знакомство с работами исследователей, ранее изучавшими данную проблему, страхует от дублирования ранее выполненных работ и повторения давно раскритикованных ошибок, позволяет определить место предполагаемого исследования в общем ходе изучения проблемы, облегчает использование опыта предшественников, дает возможность проследить за общими тенденциями развития вопроса и на этой базе строить свой прогноз.

История вопроса обычно излагается вслед за теоретическими основами рассматриваемой проблемы, так как исследователь, приступая к изучению истории вопроса, должен в какой-то мере владеть теоретическими знаниями, что также ориентирует его в направлении отбора того или иного материала.

Излагая содержание работ своих предшественников, следует показать их вклад в изучение проблемы, а также отметить пропущенные или принципиальные ошибки, объективно оценить значимость работы, ее роль в решении исследуемой проблемы.

При подборке и анализе материалов необходимо отказаться от тенденциозности подборки: в равной мере в обзоре должны указываться данные, подтверждающие и отрицающие выбранную автором (руководителем) теоретическую концепцию, согласующиеся и не согласующиеся с его представлениями и полученными экспериментальными данными.

Используя при составлении аналитического обзора различного рода реферативные материалы, статьи обзорного характера, спра-

вочники, учебники и др., следует не забывать, что в центре внимания должен быть первоисточник, знакомство с которым позволяет избежать ошибок, неточностей и тенденциозности, которые достаточно часто выявляются при ознакомлении с «вторичными» материалами.

Анализ результатов исследований необходимо строить вокруг проблем, а не публикаций. Это означает, что нельзя просто излагать содержание прочитанных книг, статей и отчетов. Обзор литературы — это аналитический, а не реферативный документ, он должен выявить проблемы, которые нашли отражение в результате предшествующих работ, сопоставить полученные результаты с теоретическими разработками, выявить недостаточно изученные аспекты проблемы. Необходимо очень осторожно обращаться с эмпирическими материалами, полученными в других исследованиях, не следует воспроизводить таблицы и графики, ограничиваясь отдельными показателями. Любой конкретный результат должен иметь отсылку к источнику.

Не следует в литературном обзоре одинаково подробно рассматривать все вопросы, встречающиеся в использованной литературе, необходимо сосредоточиться только на тех, которые имеют непосредственное отношение к теме исследования. Вопросы, несущественные для конкретной темы, можно упомянуть, или охарактеризовать одним — двумя предложениями.

Работа над первоисточниками состоит в основном из двух этапов:

- 1) предварительного просмотра материала, когда выделяется основное содержание работы в целом и ее главные мысли. Это позволяет оценить важность данной работы и обосновать необходимость более детальной ее проработки;
- 2) изучения материала с критическим анализом и соответствующими выписками на библиографические карточки.

При работе с научными книгами (монографиями, сборниками трудов и т. д.) необходимо ознакомиться с их содержанием по оглавлению, просмотреть книги, прочитать аннотацию, введение, заключение. В том случае, если имеющиеся в книге материалы представляют интерес, следует провести детальное изучение данного материала.

При работе с первоисточниками и монографиями целесообразно придерживаться определенных правил работы с научной литературой: отделить в материале основное от второстепенных деталей; разобраться в незнакомой терминологии, понятиях и определениях; записать возникающие при чтении вопросы; прочитать главу книги или статью, составить для себя конкретные вопросы типа: «В чем главная мысль работы?», «Каковы аргументы в подтверждение этой мысли?», «Что можно возразить автору?», «Какие выводы вытекают из работы?».



В процессе ознакомления с информационными источниками исследователь должен делать соответствующие записи. Это необходимо потому, что:

- исследователь освобождает себя от необходимости запоминать множество различной информации;
- проработка информационных материалов неизбежно вызывает у исследователя, занятого разработкой определенной проблемы, какие-то ассоциативные мысли.

Завершающим этапом этого раздела исследовательской работы должны стать анализ современного состояния вопроса, выявление круга неразрешенных задач, что весьма важно для определения перспективы дальнейшего изучения проблемы.

Объем аналитического обзора, состоящего, как правило, из нескольких подразделов, должен составлять 15–20 страниц машинописного текста. Иллюстрации, графический и табличный материалы могут быть приведены в этом разделе работы только *в случае крайней необходимости*, если приведенные в них материалы не могут быть сформулированы словами в виде закономерностей и зависимостей. Раздел может состоять из ряда подразделов, имеющих свои подзаголовки.

**Заключение по обзору литературы.** Аналитический обзор литературы должен заканчиваться обоснованием необходимости проведения экспериментальной части работы, а именно формулированием цели и задач, разработкой плана исследовательской работы.

## 2.5. Второй раздел работы

---

Экспериментальная работа начинается с выбора объектов, методов и методик исследования. Целесообразно эту часть работы представить в виде специального раздела, посвященного изложению экспериментальных данных: «Объекты и методы исследования».

В подразделе «Характеристика объектов исследования» в виде текста, схемы или таблицы должны быть представлены все известные сведения об объекте исследования. Эти сведения могут касаться свойств объекта исследования, его внешнего вида, технологии получения, технических и других параметров (нормативные требования, паспортные данные, химический, зерновой, вещественный состав, структура и т. д.).

В подразделе «Методы исследования» должны быть даны, при использовании стандартизованных методов и методик, ссылки на соот-

ветствующий ГОСТ или иной нормативный документ, без приведения в тексте подробного описания методики. Это в первую очередь касается достаточно известных методик. При необходимости (например, в случае недостаточной известности методики) целесообразно дать подробное описание используемой методики в тексте или в приложении, либо в приложение включить эти нормативные документы.

В случае проведения испытаний по не аттестованным методикам в подразделе должны приводиться полные описания методик испытаний с указанием первоисточника, рекомендующего эти методики.

В основном тексте или приложении к работе следует приводить методики, взятые из ТУ, МРТУ, методической литературы и других малодоступных источников.

В этом же разделе целесообразно описать подготовку образцов для исследования — ссылками на нормативную документацию, если образцы готовились в соответствии с ней, или полным описанием процесса подготовки и обработки образцов (зерновой состав, влажность, давление формования, форма и размеры образцов, температуры сушки и термообработки и т. п.).

## 2.6. Третий раздел работы

---

Экспериментальное исследование — один из способов получения новых научных знаний. В его основе лежит эксперимент (от латинского «experiment», переводится как «проба», «опыт»), представляющий собой систему операций и воздействий на объект, предназначенных для получения информации об объекте, явлении на основе результатов измерений. От обычного наблюдения эксперимент отличается активным воздействием исследователя на изучаемое явление.

Эксперименты могут отличаться друг от друга, но фактически планирование, проведение и анализ всех экспериментов осуществляется в одинаковой последовательности. Хотя объекты исследований различны, однако методы экспериментальных исследований имеют много общего:

- каким бы простым эксперимент не был, сначала он включается в план его проведения;
- стремятся уменьшить число переменных, поскольку это упрощает его работу и делает ее более экономичной;
- все стараются исключить влияние внешних (случайных факторов);

- необходимо контролировать ход эксперимента;
- всех интересует точность измерительных приборов и точность получения данных;
- в процессе любого эксперимента необходимо анализировать получаемые результаты и давать их интерпретацию, поскольку без этого решающего этапа весь процесс не имеет смысла.

*Основной целью* эксперимента является определение свойств объекта, исследование влияния различных факторов на свойства объекта, а также проверка теоретических положений (подтверждение рабочей гипотезы) и более широкое и глубокое изучение темы научного исследования.

По форме представления результатов выделяются следующие виды экспериментов:

**Качественный эксперимент.** Устанавливается факт существования каких-либо явлений, но количественных характеристик при этом не дается. Любой эксперимент, каким бы сложным он не казался, заканчивается представлением результатов, формулировкой выводов, выдачей рекомендаций. Эта информация может быть представлена в виде графиков, чертежей, таблиц, формул, статистических данных или словесных описаний. Качественный эксперимент, как правило, предусматривает именно словесное описание. Однако словесное описание — самый неэффективный способ представления результатов, поскольку не позволяет дать количественные рекомендации, анализировать свойства объекта в иных условиях, решать задачи его управления. В инженерной практике основное содержание эксперимента должно представляться числом или количественными зависимостями.

**Количественный эксперимент.** Позволяет не только фиксировать существование того или иного явления, но и устанавливать количественные взаимосвязи между факторами, определяющими протекание процесса, а также устанавливать математическую модель влияния этих факторов на то или иное явление.

По условиям проведения различают:

**Лабораторный эксперимент.** В лаборатории меньше влияние случайных погрешностей, обеспечивается большая «стерильность» условий проведения опытов, осуществляется в большинстве случаев и более тщательная подготовка, одним словом выше «культура эксперимента». Как правило, в лабораторных условиях экспериментатор может воспроизвести опыт «одинаково» значительно лучше, чем в промышленности. Это означает, что при прочих равных условиях для установления некоторого факта на заводе потребуются выполнить значительно больше опытов, чем в лаборатории. Другое важное отличие — различ-

ные ограничения на возможности варьирования факторами. Когда в лаборатории исследуется химическая реакция, температуру по желанию можно менять в широких пределах, а в металлургических печах, напротив, если ее и можно менять, то в значительно более узком диапазоне и с большей осторожностью.

**В промышленных экспериментах** эти условия обеспечить значительно сложнее. Усложняются измерения и сбор информации, значительно больше влияние различного рода помех на организацию и проведение эксперимента, измерительные приборы, поэтому особенно необходимо использовать специальные методы. Требуется по возможно меньшему числу измерений получить наиболее достоверные результаты. Заметим, что в современной математической статистике имеются специальные методы, которые при том же количестве измерений позволяют повысить точность или даже при их уменьшении получить более подробную информацию.

По виду воздействий на объект различают:

- *Активный эксперимент* — это такой эксперимент, когда уровень (значение) фактора для каждого опыта задает исследователь. Он целенаправленно изменяет условия функционирования процесса и регистрирует результаты. Такой эксперимент можно планировать.
- *Пассивный* — это эксперимент, в котором уровень факторов регистрирует исследователь в каждом опыте, но не задает его значение. В дальнейшем он обрабатывает результаты такой регистрации и пытается давать рекомендации.

Здесь использовано новое понятие — *фактор*, под которым понимаются контролируемые переменные объекта (явления), влияющие на количественные характеристики последнего. Количественные характеристики будем оценивать выходными величинами, *функцией отклика*.

Одной из разновидностей производственных экспериментов является собирание материалов в организациях, которые накапливают те или иные данные. Ценность этих материалов заключается в том, что они систематизированы за многие годы по единой методике. Такие данные хорошо поддаются обработке методами статистики и теории вероятностей.

В процессе проведения эксперимента необходимо соблюдать все требования, обеспечивающие объективность и достоверность получаемых результатов в части, касающейся методики отбора и подготовки образцов, методов и условий их испытания, количества и воспроизводимости опытов, способов обработки результатов исследований с использованием компьютерной техники и др.

Экспериментальная часть работы базируется на исследовательских испытаниях, выполненных с целью изучения параметров и показателей качества и их взаимосвязи. В первую очередь следует рекомендовать постановку исследовательских испытаний.

При экспериментальном исследовании сложных процессов часто возникают случаи, когда ожидаемый результат получают позже, чем предусмотрено планом. Поэтому студент должен проявить терпение, выдержку, настойчивость и довести эксперимент до получения результатов.

Особое значение имеет добросовестность при проведении экспериментальных работ. Экспериментатор должен фиксировать все характеристики исследуемого процесса, не допуская субъективного влияния на результаты измерений.

В процессе проведения экспериментальных работ недопустима небрежность: она приводит к большим искажениям, ошибкам. В связи с этим эксперименты приходится повторять, что увеличивает продолжительность исследования. Все результаты экспериментов и наблюдений должны фиксироваться в виде протокольной записи в рабочей тетради или журнале. Записи необходимо проводить непосредственно в процессе работы, без последующих дополнений «по памяти». Записи следует вести аккуратно, подробно, систематически и последовательно, фиксируя по заранее разработанной форме, например, в виде таблиц.

Журнал нужно заполнять аккуратно, без каких-либо исправлений. При получении в одном статистическом ряду результатов, резко отличающихся от соседних измерений, исполнитель должен записать все данные без искажений и указать обстоятельства, сопутствующие указанному измерению. Это позволит установить причины искажений и квалифицировать измерения как соответствующие реальному ходу процесса или как грубый промах. Если в процессе измерения необходимы простейшие расчеты, то они должны быть выполнены безупречно. Первостепенное внимание экспериментатор должен уделять контролю качества экспериментальных работ, т. е. обеспечивать надежность работы средств измерений, воспроизводимость измерений, соблюдать требуемую точность и достоверность получаемых результатов; не допускать посторонних лиц в рабочую зону.

Одновременно с производством измерений необходимо проводить предварительную обработку результатов и их анализ. Здесь особо должны проявляться творческие способности студента. Такой анализ позволяет контролировать исследуемый процесс, корректировать эксперимент, улучшать методику и повышать его эффективность.

## 2.7. Оформление результатов эксперимента

Основные положения при обработке (анализе) и оформлении результатов эксперимента:

1. Основной формой записи данных о свойствах исследуемого объекта является таблица. Представление экспериментальных зависимостей в виде графиков или формул не должно заменять их представление в виде таблиц.

2. Таблице данных должна предшествовать текстовая часть, содержащая описание процедуры эксперимента (объекта и метода исследования, условий его проведения; аппаратуры, в том числе измерительной; обработки экспериментальных данных).

3. Табличная часть должна содержать результаты экспериментов в виде значений характеристик свойств исследуемого объекта, погрешность приводимых данных, а в случае заимствования данных — построчно источники заимствования. Первичные результаты эксперимента могут быть дополнены значениями данных, представленных в таблицах или в виде эмпирических выражений. Следует указывать максимальное отклонение между экспериментальными и теоретическими данными.

4. Следует приводить данные, непосредственно полученные в эксперименте. Количество экспериментально полученных данных должно быть достаточным для их независимой обработки и оценки их достоверности. При наличии данных, полученных при измененных условиях эксперимента, их следует приводить.

5. Численные данные и физические константы, взятые из других источников, должны быть ясно обозначены, источники их указаны.

6. Работа должна содержать анализ источников ошибок (случайных и систематических). Статистические методы оценки этих ошибок должны быть указаны.

7. Физические величины следует приводить в Международной системе единиц (СИ) согласно ГОСТ 8.417—02. Однозначно определяемые величины (параметры) следует обозначать едиными символами и терминами.

8. В работе должна содержаться критическая оценка экспериментально полученных данных на основании сопоставления их с результатами других исследований. Необходимо указывать на особенности эксперимента, которые могли быть причиной получения результатов, отличающихся от общего массива данных.

9. В списке использованных источников литературы должны быть указаны источники, из которых были отобраны исходные данные,

способы получения этих данных, использованные методики оценки достоверности, а также другие приводимые сведения.

В результате теоретико-экспериментального анализа могут возникнуть случаи:

- установлено полное или достаточно хорошее совпадение рабочей гипотезы, теоретических предпосылок с результатами опыта, тогда последняя превращается в теорию;
- экспериментальные данные лишь частично подтверждают положение рабочей гипотезы и в той или иной ее части противоречат ей. В этом случае следует произвести дополнительные корректировочные эксперименты с целью подтвердить изменения рабочей гипотезы, после чего она также превращается в теорию;
- рабочая гипотеза не подтверждается экспериментом. Тогда ее полностью пересматривают. Затем проводят новые экспериментальные исследования с учетом новой рабочей гипотезы. Отрицательные результаты исследовательской работы, как правило, не являются бросовыми, они во многих случаях помогают выработать представления об объектах, явлениях и процессах.

### Особенности языка и стиля научной речи

Научный стиль — стиль литературного языка, которому присущ ряд особенностей: предварительное обдумывание высказывания, методический характер, строгий отбор языковых средств, тяготение к нормированной речи.

Стиль научных работ определяется в конечном счете их содержанием и целями научного сообщения: по возможности точно и полно объяснить факты, показать причинно-следственные связи между явлениями, выявить закономерности исторического развития и т. д.

Научный стиль имеет ряд общих черт, проявляющихся независимо от характера определенных наук (естественных, точных, гуманитарных) и различий между жанрами высказывания (монография, научная статья, доклад, учебник и т. д.), что дает возможность говорить о специфике стиля в целом.

Научный стиль характеризуется логической последовательностью изложения, упорядоченной системой связей между частями высказывания, стремлением авторов к точности, сжатости, однозначности при сохранении насыщенности содержания.

Логичность — это наличие смысловых связей между последовательными единицами (блоками) текста.

Последовательностью обладает только такой текст, в котором выводы вытекают из содержания, они непротиворечивы, текст разбит на отдельные смысловые отрезки, отражающие движение мысли от частного к общему или от общего к частному.

Ясность как качество научной речи предполагает понятность, доступность. Следует избегать длинных запутанных предложений, общих, малоговорящих фраз, повторений, лишних слов и словосочетаний, затрудняющих чтение и восприятие текста. При этом научный текст документа должен быть выразительным, содержать максимум информации и отвечать требованиям эстетики.

Точность научной речи предполагает однозначность понимания и словоупотребления, отсутствие расхождения между применяемым в конкретном случае термином и его общим определением. Следует избегать образных, экспрессивных средств, метафор, эпитетов, художественных сравнений, пословиц и т. п. Необходимо использовать слова преимущественно в прямом значении, частотность терминов также способствует однозначности текста.

Эмоциональность, как и экспрессивность, в научном стиле, который требует объективного, «интеллектуального» изложения научных данных, должна выражаться иначе, чем в других стилях. Восприятие научного произведения может вызывать определенные чувства у читателя, но не как ответную реакцию на эмоциональность автора, а как осознание самого научного факта. Стремление к ограниченному использованию авторского «я» — это не дань этикету, а проявление отвлеченно-обобщенной стилиевой черты научной речи, отражающей форму мышления.

Характерной чертой стиля научных работ является их насыщенность терминами (в частности, интернациональными). Используемые термины должны быть краткими, соответствовать понятию и общепотребительными. Не следует, однако, переоценивать степень этой насыщенности: в среднем терминологическая лексика обычно составляет 15–25 процентов общей лексики, использованной в работе. Большую роль в стиле научных работ играет использование абстрактной лексики.

### Лексика научного стиля речи

Так как ведущей формой научного мышления является понятие, почти каждая лексическая единица в научном стиле обозначает понятие или абстрактный предмет. Точно и однозначно называют спе-



циальные понятия научной сферы общения и раскрывают их содержание особые лексические единицы — термины. Термин — это слово или словосочетание, обозначающее понятие специальной области знания или деятельности и являющееся элементом определенной системы терминов. Внутри данной системы термин стремится к однозначности, не выражает экспрессии. Однако это не означает его стилистической нейтральности. Термину, так же как и многим другим лексическим единицам, присуща стилистическая окрашенность (научного стиля), которая отмечается в виде стилистических помет в соответствующих словарях. Приведем примеры терминов: «численные методы алгебры», «диапазон», «призма», «фаза», «низкие температуры», «керметы». Значительная часть терминов является интернациональными словами.

В количественном отношении в текстах научного стиля термины преобладают над другими видами специальной лексики (номенклатурными наименованиями, профессионализмами, профессиональными жаргонизмами и пр.); в среднем терминологическая лексика обычно составляет 15–20 % общей лексики научного стиля.

Для терминов как основных лексических составляющих научного стиля речи, а также для других слов научного текста, характерно употребление в одном, конкретном, определенном значении. Если слово многозначно, то оно употребляется в научном стиле в одном, реже — в двух значениях, которые являются терминологическими: сила, размер, тело, кислый, движение, твердый (сила — величина векторная и в каждый момент времени характеризуется числовым значением). Обобщенность, абстрактность изложения в научном стиле на лексическом уровне реализуется в употреблении большого количества лексических единиц с абстрактным значением (абстрактная лексика). Научный стиль имеет и свою фразеологию, включающую составные термины: «температура начала деформации», «утильный обжиг», «атмосфера обжига», «вещественный состав шихты», «добавка спекающая», «механическая обработка», а также различного рода клише: «заклучается в ...», «представляет собой...», «состоит из...», «применяется для...» и пр.

### Морфологические особенности научного стиля речи

Языку научного общения присущи свои грамматические особенности. Отвлеченность и обобщенность научной речи проявляются в особенностях функционирования разнообразных грамматических,

в частности морфологических, единиц, что обнаруживается в выборе категорий и форм, а также степени их частоты в тексте. Реализация закона экономии языковых средств в научном стиле речи приводит к использованию более кратких вариантных форм, в частности форм существительных мужского рода вместо форм женского рода: клавиш (вместо клавиша), манжет (вместо манжета).

Формы единственного числа имен существительных используются в значении множественного числа: «шамот — огнеупорный материал класса алюмосиликатных». Вещественные и отвлеченные существительные нередко употребляются в форме множественного числа: «неметаллические материалы», «цементные фазы», «стеклообразующие оксиды».

Названия понятий в научном стиле преобладают над названиями действий, это приводит к меньшему употреблению глаголов и большему употреблению существительных. При использовании глаголов характерна тенденция к их десемантизации, то есть утрате лексического значения, что отвечает требованию абстрактности, обобщенности научного стиля изложения. Это проявляется в том, что большая часть глаголов в научном стиле функционирует в роли связочных: «быть», «являться», «называться», «считаться», «стать», «становиться», «делаться», «казаться», «заклучаться», «составлять», «обладать», «определяться», «представляться» и др. Имеется значительная группа глаголов, выступающих в качестве компонентов глагольно-именных сочетаний, где главная смысловая нагрузка приходится на имя существительное, называющее действие, а глагол выполняет грамматическую роль (обозначая действие в самом широком смысле слова, передает грамматическое значение наклонения, лица и числа): приводить — к возникновению, к нарушению; производить — расчеты, вычисления, наблюдения. Десемантизация глагола проявляется также в преобладании в научном тексте глаголов широкой, абстрактной семантики: существовать, происходить, иметь, появляться, изменять (ся) и пр.

Для научной речи характерно использование глагольных форм с ослабленными лексико-грамматическими значениями времени, лица, числа, что подтверждается синонимией структур предложения: обжиг производят — обжиг производится; можно сделать вывод — делается вывод и пр.

Еще одна морфологическая особенность научного стиля состоит в использовании настоящего вневременного (с качественным, признаковым значением), что необходимо для характеристики свойств и признаков исследуемых предметов и явлений: «спекание характе-

ризуется уменьшением пористости и увеличением прочности»; «углерод является одним из основных огнеупорных элементов». В контексте научной речи вневременное значение приобретает и прошедшее время глагола: «Произведено *n* опытов, в каждом из которых *x* принял определенное значение».

Отвлеченность и обобщенность научной речи проявляется в особенностях употребления категории вида глагола: около 80 % составляют формы несовершенного вида, являясь более отвлеченно-обобщенными. Немногие глаголы совершенного вида используются в устойчивых оборотах в форме будущего времени, которое синонимично настоящему вневременному: «рассмотрим...», «уравнение примет вид». Многие глаголы несовершенного вида лишены парных глаголов совершенного вида: «Металлы легко рожутся».

Формы лица глагола и личные местоимения в научном стиле также употребляются в соответствии с передачей отвлеченно-обобщающих значений. Практически не используются формы 2-го лица и местоимения «ты», «вы», так как они являются наиболее конкретными, мал процент форм 1-го лица единственного числа. Наиболее часты в научной речи отвлеченные по значению формы 3-го лица и местоимения «он», «она», «оно». Местоимение «мы», кроме употребления в значении так называемого «авторского мы», вместе с формой глагола часто выражает значение разной степени отвлеченности и обобщенности в значении «мы совокупности» (я и аудитория): «Мы приходим к результату», «Мы можем заключить».

### Синтаксические особенности научного стиля речи

Для синтаксиса научного стиля речи характерна тенденция к сложным построениям, что способствует передаче сложной системы научных понятий, установлению отношений между родовыми и видовыми понятиями, между причиной и следствием, доказательствами и выводами. Для этой цели используются предложения с однородными членами и обобщающими словами при них. В научных текстах распространены разные типы сложных предложений, в частности с использованием составных подчинительных союзов, что вообще характерно для книжной речи: вследствие того что; ввиду того что, в то время как и пр. Средствами связи частей текста служат вводные слова и сочетания: во-первых, наконец, с другой стороны, указывающие на последовательность изложения. Для объединения частей текста, в частности абзацев, имеющих тесную логическую связь друг

с другом, используются указывающие на эту связь слова и словосочетания: таким образом, в заключение и пр. Предложения в научном стиле однообразны по цели высказывания — они почти всегда повествовательные. Вопросительные предложения редки и используются для привлечения внимания читателя к какому-либо вопросу.

Обобщенно-абстрактный характер научной речи, вневременной план изложения материала обуславливают употребление определенных типов синтаксических конструкций: неопределенно-личных, обобщенно-личных и безличных предложений. Действующее лицо в них отсутствует или мыслится обобщенно, неопределенно; все внимание сосредоточено на действии, на его обстоятельствах. Неопределенно-личные и обобщенно-личные предложения используются при введении терминов, выведении формул, при объяснении материала в примерах: «Скорость изображают направленным отрезком»; «Рассмотрим следующий пример»; «Сравним предложения».

Для связи частей текста используются специальные средства (слова, словосочетания и предложения), указывающие на последовательность развития мыслей («вначале», «потом», «затем», «прежде всего», «предварительно» и др.); на связь предыдущей и последующей информации («как указывалось», «как уже говорилось», «как отмечалось», «рассмотренный» и др.); на причинно-следственные отношения («но», «поэтому», «благодаря этому», «следовательно», «в связи с тем, что», «вследствие этого» и др.); на переход к новой теме («рассмотрим теперь», «перейдем к рассмотрению» и др.); на близость, тождественность предметов, обстоятельств, признаков («он», «тот же», «такой», «так», «тут», «здесь» и др.).

Таким образом, основными требованиями к тексту работы являются:

- четкость и логическая последовательность изложения материала;
- краткость и точность формулировок, исключая возможность неоднозначного их толкования;
- конкретность изложения результатов экспериментальных исследований, их анализа и теоретических положений;
- обоснованность выводов и предложений.

Содержание учебно-исследовательской работы должно соответствовать названию темы. Работа считается выполненной в полном объеме в том случае, если в ней нашли отражение все проблемы и вопросы, предусмотренные заданием на выполнение.

## 2.8. Заключение

---

Заключение — важнейшая неотъемлемая структурная часть исследовательской работы, в которой подводится итог проведенных исследований.

В заключении должно содержаться краткое изложение основных результатов работы и их оценка, сделаны выводы по проделанной работе, даны предложения по использованию полученных результатов, включая их внедрение, а также следует указать, чем завершилась работа: получением научных данных о новых объектах, процессах, явлениях и закономерностях; изготовлением образцов новых изделий; разработкой новых продуктов, материалов и процессов, регламентов, технологических режимов, методик; внедрением в производство вновь созданных режимов, товаров, продуктов, материалов, технологий.

Если при завершении работы получены отрицательные результаты, то это также должно отражаться в заключении, в котором также целесообразно указать пути и цели дальнейшей работы в исследуемом направлении или обосновать нецелесообразность дальнейшего продолжения исследований.

Выводы должны быть общими по всей работе, написаны по пунктам в последовательности соответственно порядку выполнения экспериментальной части работы (задачам), а также краткими, четкими, не перегруженными цифровым материалом.

Выводы общего порядка, не вытекающие из результатов и содержания исследовательской работы, не допускаются. После изложения выводов, отражающих существо работы и ее основные результаты, формируются конкретные предложения, которые излагаются по пунктам либо в общем разделе заключения «Выводы и предложения», либо в самостоятельном подразделе «Предложения». Предложения не следует формулировать в общей директивной форме, они должны быть конкретными и адресными.

Общий объем раздела «Заключение» должен составлять 1–2 страницы.

## 2.9. Библиографический список

---

В список использованных источников и литературы включаются все печатные и рукописные материалы, которыми пользовался автор исследовательской работы в процессе ее выполнения и написания.

Ссылками на использованные источники должны сопровождаться заимствованные у других авторов экспериментальные данные, теоретические представления, идеи и другие положения, которые являются интеллектуальной собственностью их авторов.

Библиографический список является органической частью исследовательской работы и помещается после основного текста работы; позволяет автору документально подтвердить достоверность и точность приводимых в тексте заимствований (таблиц, иллюстраций, формул, цитат, фактов, текстов документов); характеризует степень изученности конкретной проблемы автором; представляет самостоятельную ценность как справочный аппарат для других исследователей.

Библиографическая ссылка подтверждает фактическую достоверность работы. Она указывает библиографические сведения о цитируемом, рассматриваемом, упоминаемом в тексте работы документе, необходимые и достаточные для его идентификации и поиска.

Объектами составления библиографической ссылки являются все виды опубликованных и неопубликованных документов на любых носителях (в том числе электронные ресурсы локального или удаленного доступа), а также их составные части или группа документов.

Согласно ГОСТ Р 7.0.5–008 автор может выбирать и использовать разные виды ссылок:

По составу элементов описания:

- полные — указывают все элементы описания;
- краткие — приводят только основные элементы.

По месту расположения:

- внутритекстовые — помещают в основном тексте;
- подстрочные — дают под строками текста;
- затекстовые — размещают за основным текстом.

По числу применения:

- первичные — объект ссылки описывается впервые;
- повторные — описание одного и того же документа повторяется несколько раз.

По количеству объектов ссылки:

- одинарные — описывают один объект ссылки;
- комплексные — дают описание группы документов.

При оформлении ссылок допускается:

- заменять двойной знак (точка и тире), разделяющий области библиографического описания одинарным знаком (точка);
- сокращать отдельные слова и словосочетания для всех элементов библиографической записи, кроме основного заглавия документа;

- указывать вместо общего объема документа сведения о местоположении объекта ссылки, т. е. номер конкретной страницы.

Для упрощения рекомендуется применять полные затекстовые ссылки с оформлением списка использованной литературы.

Список использованных источников и литературы является органической частью любой работы. Он помещается после основного текста курсового или дипломного проекта (работы) и позволяет автору документально подтвердить достоверность и точность приводимых в тексте заимствований: цитат, идей, фактов, таблиц, иллюстраций, формул и других документов, на основе которых строится работа. Список использованной литературы показывает глубину и широту изучения темы, демонстрирует эрудицию и культуру исследователя.

Список использованных источников и литературы является простейшим библиографическим пособием, поэтому каждый документ, включенный в список, должен быть описан в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0–9, ГОСТ Р 7.0.3–006, ГОСТ 7.1–003, ГОСТ 7.12–3, ГОСТ 7.60–003, ГОСТ 7.82–001, ГОСТ 7.83–001.

Авторам работ рекомендуется на выбор три варианта заглавия списка:

- Библиографический список;
- Список использованной литературы;
- Список использованных источников и литературы.

Если в список включаются все документы, изученные исследователем по теме, независимо от того, использовались они в работе или нет, список озаглавливают термином — «Библиографический список».

Если включается только то, что анализировалось в обзоре и использовалось в виде заимствований в тексте, выбирается второй вариант заглавия — «список использованной литературы».

Наконец, если кроме литературы использовались еще и источники, то автор останавливается на третьем варианте заглавия — «список использованных источников и литературы».

Для удобства пользования работой источники в списке располагаются в порядке цитирования.

Библиографическое описание документа в списках проводится по определенным правилам, которые устанавливает стандарт согласно следующей схеме:

Фамилия и инициалы первого автора. Основное заглавие: добавочное заглавие/Инициалы и фамилии первого, второго, третьего автора; редактора, составителя, переводчика; название коллективного автора (учреждения, партии, общественной организации, органа власти). — Сведения о переиздании. — Место издания: Название издательства,

год издания. — Количество страниц (дисков, кассет, карт). — (Название серии). — Дополнительная информация.


Объектами составления библиографической ссылки также являются электронные ресурсы локального и удаленного доступа. Ссылки составляют как на электронные ресурсы в целом (электронные документы, базы данных, порталы, сайты, веб-страницы, форумы и т. д.), так и на составные части электронных ресурсов (разделы и части электронных документов, порталов, сайтов, веб-страниц, публикации в электронных сериальных изданиях, сообщения на форумах и т. п.). Ссылки на электронные ресурсы составляют по следующим правилам:

- если ссылки на электронные ресурсы включают в массив ссылок, содержащий сведения о документах различных видов, то в ссылках, как правило, указывают общее обозначение материала для электронных ресурсов;
- в примечании приводят сведения, необходимые для поиска и характеристики технических спецификаций электронного ресурса. Сведения приводят в следующей последовательности: системные требования, сведения об ограничении доступности, дату обновления документа или его части, электронный адрес, дату обращения к документу;
- сведения о системных требованиях приводят в тех случаях, когда для доступа к документу требуется специальное программное обеспечение (например, Adobe Acrobat Reader, PowerPoint и т. п.);
- примечание об ограничении доступности приводят в ссылках на документы из локальных сетей, а также из полнотекстовых баз данных, доступ к которым осуществляется на договорной основе или по подписке (например, «Кодекс», «Гарант», «КонсультантПлюс», «EBSCO», «ProQuest», «Интегрум» и т. п.);
- для электронных ресурсов удаленного доступа приводят примечание о режиме доступа, в котором допускается вместо слов «Режим доступа» (или их эквивалента на другом языке) использовать для обозначения электронного адреса аббревиатуру URL (Uniform Resource Locator — унифицированный указатель ресурса). Информацию о протоколе доступа к сетевому ресурсу (ftp, http и т. п.) и его электронный адрес приводят в формате унифицированного указателя ресурса. После электронного адреса в круглых скобках приводят сведения о дате обращения к электронному сетевому ресурсу: после слов «дата обращения» указывают число, месяц и год.



### 3. Математическая обработка результатов измерений

---

сновой всей научной работы являются наблюдение и эксперимент.

**Наблюдение** — это систематическое, целенаправленное восприятие того или иного объекта или явления без воздействия на изучаемый объект или явление. Наблюдение позволяет получить первоначальную информацию по изучаемому объекту или явлению.

**Эксперимент** — метод изучения объекта или явления, при котором исследователь активно и целенаправленно воздействует на него путем создания искусственных условий или использует естественные условия, необходимые для выявления соответствующих свойств. Достоинствами эксперимента по сравнению с наблюдением являются:

1. Возможность изучения в «чистом виде», без влияния побочных факторов, искажающих основной процесс.
2. Возможность получить результат более быстро и точно.
3. Возможность проводить испытания столько раз, сколько это необходимо.
4. Меньшие затраты, как временные, так и материальные, на процесс получения новых знаний.

Но поскольку эксперимент проводится с реальными материалами на реальных установках (приборах) и реальными людьми, то результат эксперимента или измерения всегда содержит некоторую погрешность, которую необходимо оценить качественно и количественно.

#### 3.1. Цели математической обработки результатов эксперимента

---

Целью любого эксперимента является определение качественных и количественных характеристик объекта или процесса, а также качественной и количественной связи между исследуемыми величинами.

В некоторых случаях вид зависимости между переменными величинами известен по результатам теоретических исследований. Как правило, формулы, выражающие эти зависимости, содержат некоторые постоянные, значения которых необходимо определить из опыта.

Другим типом задачи является определение неизвестной функциональной связи между переменными величинами на основе данных эксперимента. Такие зависимости называют эмпирическими.

Однозначно определить неизвестную функциональную зависимость между переменными невозможно даже в том случае, если бы результаты эксперимента не имели ошибок. Тем более не следует этого ожидать, имея результаты эксперимента, содержащие различные ошибки измерения.

Поэтому следует четко понимать, что целью математической обработки результатов эксперимента является не только нахождение истинного характера зависимости между переменными или абсолютно-го значения какой-либо величины, но и представление результатов наблюдений в наиболее простом виде с оценкой возможной погрешности.

### 3.2. Виды измерений и причины возникновения погрешностей измерения

---

Под измерением понимают сравнение измеряемой величины с другой величиной, принятой за единицу измерения. Различают два типа измерений: прямые и косвенные. При *прямом* измерении измеряемая величина сравнивается непосредственно со своей единицей меры. Например, измерение штангенциркулем линейного размера, промежутка времени при помощи часовых механизмов, температуры — термометром и т. п. Значение измеряемой величины отсчитывается при этом по соответствующей шкале прибора. При *косвенном* измерении измеряемая величина вычисляется по результатам измерений других величин, которые связаны с измеряемой величиной определенной функциональной зависимостью. Например, измерение объема по линейным размерам, измерение плотности тела по измерению массы и объема, температуры по электродвижущей силе (термопара) и т. п.

При измерении любой физической величины производят проверку и установку соответствующего прибора, наблюдение их показаний и отсчет. При этом никогда истинного значения измеряемой величины не получить. Это объясняется тем, что измерительные сред-

ства основаны на определенном методе измерения, точность которого конечна. При изготовлении прибора задается класс точности. Его погрешность определяется точностью делений шкалы прибора. Если шкала линейки нанесена через 1 мм, то точность отсчета  $\pm 0,5$  мм не изменить, даже если применим лупу для рассматривания шкалы. Аналогично происходит измерение и при использовании других измерительных средств.

Кроме приборной погрешности на результат измерения влияет еще ряд объективных и субъективных причин, обуславливающих появление погрешности измерения — разности между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины. Погрешность измерения обычно неизвестна, как неизвестно и истинное значение измеряемой величины. Исключения составляют измерения известных величин при определении точности измерительных приборов или их калибровке. Поэтому одной из важнейших задач математической обработки результатов эксперимента и является оценка истинного значения измеряемой величины по данным эксперимента с возможно меньшей погрешностью.

### 3.3. Типы погрешностей измерения

---

Кроме приборной погрешности измерения (определяемой методом измерения), существуют и другие, которые можно разделить на три типа:

1. Систематические погрешности обуславливаются постоянно действующими факторами. Например, смещение начальной точки отсчета, влияние нагревания тел на их удлинение, влияние температуры на плотность жидкости и т. п. Систематические погрешности выявляют при соответствующей калибровке приборов, и потому они могут быть учтены при обработке результатов измерений.

2. Случайные погрешности содержат в своей основе много различных причин, каждая из которых не проявляет себя отчетливо. Случайную погрешность можно рассматривать как суммарный эффект действия многих факторов. Поэтому случайные погрешности при многократных измерениях получаются различными как по величине, так и по знаку. Их невозможно учесть как систематические, но можно учесть их влияние на оценку истинного значения измеряемой величины. Анализ случайных погрешностей является важнейшим разделом математической обработки экспериментальных данных.

3. Грубые погрешности (промахи) появляются вследствие неправильного отсчета по шкале, неправильной записи, неверной установки условий эксперимента, резкого изменения условий окружающей среды и т. п. Они легко выявляются при повторном проведении опытов или в ходе математической обработки результатов измерений. Их необходимо выявить и их влияние на результат измерения устранить.

Количественно погрешности разделяются на абсолютные и относительные.

**Абсолютная погрешность**  $\Delta x$  определяется как разность между измеренным значением физической величины и истинным ее значением  $X$ :

$$\Delta x = |x - X|. \quad (1)$$

Она выражается в единицах измеряемой величины.

**Относительная погрешность**  $\delta$  определяется отношением абсолютной погрешности  $\Delta x$  к истинному значению  $X$  измеряемой величины и выражается в процентах или долях единицы:

$$\delta = \pm \frac{\Delta x}{X} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

---

### 3.4. Свойства случайных погрешностей измерения

---

Случайными величинами называются величины, которые в результате опыта, проведенного при одних и тех же условиях, могут принимать различные числовые значения. Случайные погрешности измерений являются одним из примеров случайных величин. Случайная величина называется дискретной, если она может принимать только определенные числовые значения. Случайная величина называется непрерывной, если она может принимать непрерывный ряд значений. Так, измеряя длину стола многократно, мы можем, в принципе, в некотором диапазоне получить непрерывный ряд различных ее значений.

Рассмотрим некоторые свойства непрерывных случайных величин.

Если измерения провести многократно при одних и тех же условиях, то результаты отдельных измерений одинаково надежны. Такую совокупность измерений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  называют равноточными измерениями. Если проанализировать достаточно большую серию равноточных измерений и соответствующих случайных погрешностей измерений, то можно выделить 4 свойства случайных погрешностей:

1. Число положительных погрешностей почти равно числу отрицательных.

2. Мелкие погрешности встречаются чаще, чем крупные.

3. Величина наиболее крупных погрешностей не превосходит некоторого определенного предела, зависящего от точности измерения. Самую большую погрешность в ряду равноточных измерений называют предельной погрешностью.

4. Частные от деления алгебраической суммы всех случайных погрешностей на их общее число близко к нулю, т. е.

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \approx 0. \quad (3)$$

*При этом истинное значение измеряемой величины  $x_0$  нам неизвестно.*

Представим результаты измерений графически. Для этого область, в которой расположены все полученные значения, разделим на некоторое количество интервалов одинаковой ширины  $\Delta x$  и подсчитаем количество измерений, попавших в каждый из этих интервалов. Обозначим  $m_1, m_2, \dots, m_n$  — количество измерений, попавших соответственно в первый, второй и т. д. интервал длиной  $\Delta x$ . Относительная частота попадания результатов измерений в какой-либо интервал  $(x_i, x_i + \Delta x)$  равна  $m_i/n$ .

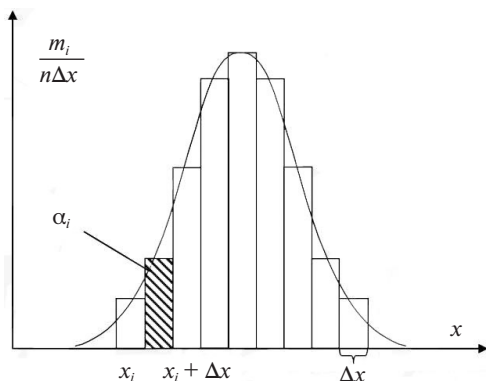


Рис. 3.1. Гистограмма выборки случайных значений измеряемой величины

При построении графика ось абсцисс разобьем на конечное число граничащих друг с другом промежутков  $\Delta x$ . Над каждым промежутком  $(x_i, x_i + \Delta x)$  нарисуем прямоугольник высотой, равной относительной частоте  $m_i/n$  попадания результатов измерений в данный интервал (или величину  $m_i/(\Delta x \cdot n)$ ). Возникающий таким образом ступенчатый график называется **гистограммой выборки** (рис. 3.1). Такое частотное распределение позволяет наглядно показать исход серии измерений. Хотя результат каждого измерения определяется случайными причинами, из рис. 3.1 хорошо видно, что эта случайность подчиняется определенному закону.

При числе измерений  $n$ , стремящемся к бесконечности ( $n \rightarrow \infty$ ), относительную частоту  $m_i/n$  того, что величина  $x$  может принимать значения в интервале от  $x_i$  до  $x_i + \Delta x$ , называют **вероятностью**  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m_i}{n} = \alpha_i$ . Вероятность  $\alpha_i$  — положительная величина, принимающая значения от нуля до единицы.

Величина  $\frac{m_i}{\Delta x_n}$  — представляет вероятность, приходящуюся на единичный интервал, причем она зависит от значения  $x_i$ , т. е. является некоторой функцией  $f(x_i)$  и называется **плотностью вероятности** или **плотностью распределения**

$$f(x) = \frac{m_i}{\Delta x_n}, \text{ при } n \rightarrow \infty. \quad (4)$$

Следует отметить, что при увеличении числа интервалов до  $\infty$  длина интервала  $\Delta x$  стремится к нулю. Тогда гистограмма в предельном переходе заменится гладкой кривой  $f(x)$ , которая называется кривой распределения или плотностью вероятности величины  $x$ . На рис. 3.2 представлена кривая, симметричная относительно максимума.

Для любого бесконечно малого интервала  $dx$  вероятность  $d\alpha(x)$  того, что в результате измерения величины  $x$  получится значение, принадлежащее интервалу от  $x$  до  $x + dx$ , зависит от плотности вероятности  $f(x)$ :

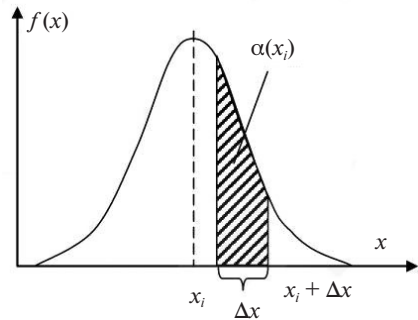


Рис. 3.2. Кривая нормального (симметричного) распределения измеряемой величины

$$f(x) = d\alpha(x). \quad (5)$$

Вероятность  $\alpha(x_i)$  попадания результата измерения величины  $x$  в интервал от  $x_i$  до  $x_i + \Delta x$  численно равна площади под кривой функции плотности вероятности на этом интервале (заштрихованный участок с основанием  $\Delta x$  на рис. 3.2), которая вычисляется путем интегрирования функции плотности вероятности  $f(x)$

$$\alpha(x_i) = \int_{x_i}^{x_i + \Delta x} f(x) dx. \quad (6)$$

Для данного зафиксированного значения  $x$ , чем больше длина интервала  $\Delta x$ , тем больше соответствующая ему вероятность (тем больше площадь).

Рассмотрим интервал  $\Delta x$  бесконечной длины. Вероятность того, что измеряемая случайная величина принимает какое-либо значение в интервале от  $-\infty$  до  $\infty$ , равна 1 (достоверное событие — событие, которое происходит всегда). Это означает, что площадь под кривой распределения  $f(x)$  равна единице  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$ . Это выражение называют условием нормировки.

Рассмотрим другой предельный случай. Устремим длину интервала  $\Delta x$  к нулю (т. е. зафиксируем одно конкретное значение случайной величины). Площадь при этом тоже обратится в ноль. Это значит, что вероятность получить при измерении конкретное фиксированное значение непрерывной случайной величины равна нулю. То есть для непрерывной случайной величины можно указать лишь интервал ее возможных значений с указанием вероятности ее пребывания в этом интервале. Это означает, что из всей серии результатов измерений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  невозможно указать истинное значение величины, а можно указать только интервал близких к нему возможных значений. Также невозможно указать точное значение допущенной при этом погрешности, а указывается только интервал возможных значений погрешности с соответствующей вероятностью.

### 3.5. Основные статистические характеристики непрерывной случайной величины

---

Поведение непрерывной случайной величины определяется функцией плотности вероятности  $f(x)$  для распределения, которому подчиняется данная величина. Все статистические характеристики случайной величины определяются на основе функции плотности вероятности  $f(x)$ .

**1. Среднее значение (математическое ожидание)** непрерывной случайной величины определяется по формуле

$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx. \quad (7)$$

**2. Дисперсия.** Дисперсия характеризует степень рассеяния значений случайной величины относительно среднего значения. Дисперсия непрерывной случайной величины определяется как

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (\bar{x} - x)^2 f(x) dx. \quad (8)$$

**3. Средним квадратичным отклонением** называется квадратный корень из дисперсии  $\sqrt{\sigma^2}$ . Среднее квадратичное отклонение характеризует абсолютное среднее отклонение случайной величины от среднего значения.

**4. Модой** называется значение случайной величины, которое встречается чаще всего, т. е. имеет максимальную вероятность. Для непрерывной случайной величины мода совпадает с максимумом функции плотности вероятности  $f(x)$ .

Таким образом, если известен аналитический вид функции плотности вероятности  $f(x)$  случайной величины, то такие величины, как среднее значение, среднеквадратичное отклонение и наиболее вероятное значение, могут быть легко подсчитаны.

В теории вероятностей изучаются различные законы распределения, каждому из которых соответствует определенная функция плотности вероятности. Они получены путем обработки большого числа наблюдений над случайными величинами. Эти законы могут быть использованы для обработки результатов измерений, но предварительно необходимо установить, какому закону распределения подчиняется данная случайная величина.

### 3.6. Случайные погрешности прямых многократных измерений

---

В теории погрешности экспериментальных измерений наиболее часто встречаются распределения Гаусса (нормальное распределение), Стюдента и равномерное распределение.

Закон нормального распределения (Гаусса) играет в теории погрешностей особую роль. Это связано прежде всего с тем, что в теории вероятности существует центральная предельная теорема, которая утверждает, что случайная величина, формирующаяся как совокупность нескольких независимых случайных процессов, подчиняется



закону нормального распределения. Результаты многократных измерений при наличии случайных погрешностей формируются под влиянием большого числа независимо действующих факторов. На этом основании можно считать, что при отсутствии какого-либо доминирующего влияния результаты прямых многократных измерений подчиняются нормальному распределению.

Нормальное распределение непрерывной случайной величины

Нормальное распределение было получено К. Ф. Гауссом (1777–1855 гг.). Оно является самым распространенным распределением в природе, экономике и т. д. Кроме того, многие другие распределения в некоторых предельных случаях переходят в нормальное распределение.

Случайная величина  $x$  с нормальным распределением может принимать любые значения в интервале от  $-\infty$  до  $\infty$  и имеет функцию плотности вероятности (закон Гаусса) вида

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(\bar{x}-x)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\bar{x}$  — абсцисса, соответствующая максимуму плотности вероятности  $f(x)$ ;  $\sigma^2$  — величина, характеризующая рассеяние, разброс результатов измерений относительно наиболее вероятного значения  $\bar{x}$ , и называется генеральной дисперсией;  $\sigma$  — величина, называемая генеральным средним квадратичным отклонением.

Основные свойства нормального распределения:

1. Распределение симметрично относительно точки  $x = \bar{x}$ .

2. Математическое ожидание вычисляется как  $\bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$ . Для нормального распределения оно совпадает с наиболее вероятным значением случайной величины, ему соответствует максимальная плотность вероятности, равная  $1/(\sigma\sqrt{2\pi})$ .

3. Дисперсия определяется как  $\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (\bar{x}-x)^2 f(x)dx$ , а среднее квадратичное отклонение  $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ .

4. Функция плотности вероятности  $f(x)$  имеет максимум в точке  $x = \bar{x}$ , равный  $1/(\sigma\sqrt{2\pi})$ , и две точки перегиба при  $x_1 = \bar{x} - \sigma$  и  $x_2 = \bar{x} + \sigma$ .

5. Условие нормировки записывается в виде  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$ .

В теории погрешностей считают, что значение, появляющееся в эксперименте чаще всего, является **истинным значением измеряемой физической величины**. Следовательно, для физической величины, подчиняющейся нормальному распределению, истинное значение  $x_0$  **совпадает с математическим ожиданием  $x$** :  $x_0 = \bar{x}$ .

Тогда применительно к задаче оценки погрешности экспериментальных измерений параметры нормального распределения (Гаусса)  $\bar{x}$  и  $\sigma^2$  можно интерпретировать следующим образом.

1. Выполним серию измерений некоторой физической величины, математическое ожидание (истинное значение) которой равно  $\bar{x}$ . Затем в тех же условиях тем же прибором измерим другую физическую величину, математическое ожидание (истинное значение) которой равно  $\bar{x}_2$ .

Максимум плотности вероятности для второй величины будет смещен относительно максимума плотности вероятности первой (рис. 3.3, а), а ширины кривых будут одинаковыми. Дисперсия распределения  $\sigma$  характеризует разброс значений при измерении данным методом.

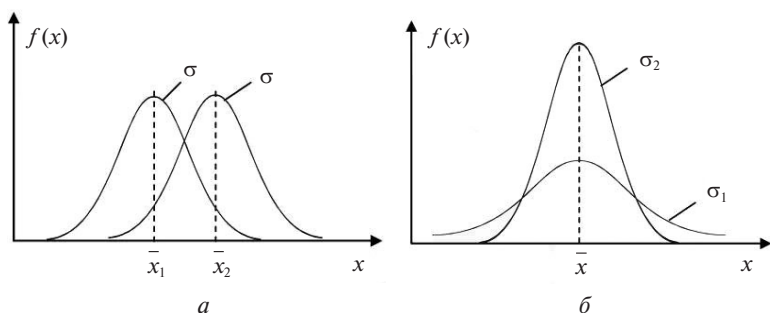


Рис. 3.3. Плотность распределения измеряемой величины для различных измеряемых величин  $x_1$  и  $x_2$  одинаковыми методами (а), для одной измеряемой величины  $x$  разными методами ( $\sigma_2 < \sigma_1$ ) (б)

2. Если одна и та же величина измерена различными методами, например, разными приборами, то разброс результатов относительно истинного значения  $\bar{x}$ , вызванный случайной погрешностью, будет разным (рис. 3.3, б). Если метод измерения является более точным, то разброс результатов меньше ( $\sigma_2$  меньше), кривая сужается. На рис. 3.3, б  $\sigma_2 < \sigma_1$ .

Таким образом, среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  характеризует прибор или метод измерения, а математическое ожидание  $\bar{x}$  — истинное значение измеряемой величины (при бесконечном числе опытов).

Так как  $\bar{x}$  соответствует истинному значению измеряемой величины, то для экспериментальных исследований важно определить вероятность  $\alpha$  того, что измеренные значения лежат вблизи  $\bar{x}$ , т. е. в некотором интервале  $(\bar{x} - \Delta x, \bar{x} + \Delta x)$ , симметричном относительно  $\bar{x}$  (рис. 3.4). Согласно теории вероятности вероятность  $\alpha$  определяется как площадь под кривой функции плотности вероятности  $f(x)$

на соответствующем интервале путем интегрирования  $\alpha = \int_{\bar{x}-\Delta x}^{\bar{x}+\Delta x} f(x)dx$ .

Значения вероятности того, что измеренная величина принимает значения из интервала, длина которого  $\Delta x$  пропорциональна  $\sigma$ , приведены в табл. 3.1. На рис. 3.5 также представлены значения вероятности  $\alpha$  для интервалов  $\pm\sigma, \pm2\sigma, \pm3\sigma$  относительно  $\bar{x}$  для нормального распределения.

Таблица 3.1

Значения вероятности в зависимости от принятого интервала

№	Интервал	Вероятность, %
1	$\bar{x} - \sigma \leq x \leq \bar{x} + \sigma$	68,3
2	$\bar{x} - 1,96\sigma \leq x \leq \bar{x} + 1,96\sigma$	95,0
3	$\bar{x} - 2\sigma \leq x \leq \bar{x} + 2\sigma$	95,5
4	$\bar{x} - 2,58\sigma \leq x \leq \bar{x} + 2,58\sigma$	99,0
5	$\bar{x} - 3\sigma \leq x \leq \bar{x} + 3\sigma$	99,7

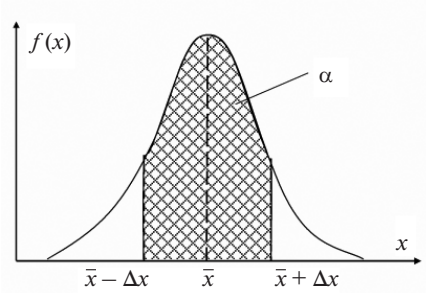


Рис. 3.4. Погрешность измеряемой величины

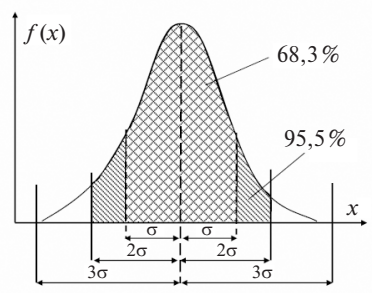


Рис. 3.5. Зависимость плотности распределения вероятности от дисперсии измерения

Не трудно заметить, что существует взаимосвязь между длиной интервала  $\Delta x$  и вероятностью  $\alpha$  получить в эксперименте значения измеряемой величины в этом интервале. Если длину интервала  $\Delta x$  выражать через среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ ,  $\Delta x = k_a \sigma$ , то можно утверждать, что коэффициент пропорциональности  $k_a$  зависит от вероятности  $\alpha$ . Чем больше вероятность  $\alpha$ , тем больше интервал  $\Delta x$ , в котором находятся измеренные значения, следовательно, тем больше коэффициент  $k_a$ .

Так как на результаты измерения влияет множество случайных независимых факторов, не все полученные в эксперименте результаты в равной мере могут достоверно характеризовать изучаемое явление или объект. Возможна ситуация, когда влияние посторонних факторов окажется настолько значительным, что измеренное значение нельзя считать относящимся к изучаемой физической величине. Вероятность, с которой в условиях данного эксперимента полученные экспериментальные данные можно считать надежными (достоверными), называют **доверительной вероятностью** или **надежностью**. Величина доверительной вероятности определяется характером производимых измерений. В инженерной практике по умолчанию доверительная вероятность обычно считается равной 95 %.

Интервал  $\Delta x$ , в который попадают измеренные в эксперименте значения, соответствующие доверительной вероятности  $\alpha$ , называется **доверительным интервалом**. Доверительному интервалу  $\Delta x = \sigma$  (коэффициент  $k_a = 1$ ) соответствует доверительная вероятность 68,3 %. По определению вероятности 68,3 % результатов входят в интервал  $(\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma)$ , а 31,7 % находятся вне этого интервала. С другой стороны, если доверительная вероятность равна 95,5 %, это означает, что 95,5 % экспериментальных значений находятся в интервале  $(\bar{x} - 2\sigma, \bar{x} + 2\sigma)$  и  $k_a = 2$ .

Так как при данных условиях эксперимента (доверительном интервале) доверия заслуживают только результаты измерений, лежащие внутри доверительного интервала  $\Delta x$ , то абсолютная погрешность (отклонение от истинного значения) этих значений измеряемой физической величины ограничена длиной доверительного интервала  $\Delta x$ . То есть **длина доверительного интервала  $\Delta x$  является характеристикой погрешности серии проводимых экспериментальных измерений (погрешности многократных измерений)**. Тогда погрешность серии измерений  $\Delta x = k_a \sigma$  определяется через среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  измеряемой физической величины и доверительную вероятность  $\alpha$  данной серии экспериментов, которые оба зависят от условий проведения эксперимента. Поэтому для характеристики величины случайной по-

грешности (ошибки) результата многократных измерений необходимо указывать два числа: величину доверительного интервала  $\Delta x$  и величину соответствующей ему доверительной вероятности  $\alpha$ .

Истинное значение и погрешность измеряемой физической величины

Когда перед исследователем стоит задача измерения конкретной физической величины, то число опытов ограничено, а параметры  $\bar{x}$  и  $\sigma$  нормального распределения, которому подчиняется измеряемая физическая величина, неизвестны. Возникает вопрос, каким образом из ограниченного числа измерений оценить истинное значение и погрешность измерений.

Предположим, что в результате  $n$  равноточных измерений получено  $n$  значений физической величины, истинное значение  $x_0 = \bar{x}$  которой нам неизвестно, а измеряемая величина  $x$  подчиняется распределению Гаусса. Обозначим через  $x_1, x_2, \dots, x_n$  результаты отдельных измерений, а через  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  — отклонения результатов измерений от истинного значения  $x_0 = \bar{x}$  (истинные абсолютные погрешности отдельных измерений).

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= \bar{x} - x_1 \\ \Delta_2 &= \bar{x} - x_2 \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta_n &= \bar{x} - x_n\end{aligned}$$

Абсолютные погрешности  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. Суммируя левую и правую стороны равенств, получаем после перестановки членов

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = n\bar{x} - \sum_{i=1}^n \Delta_i. \quad (10)$$

Разделив обе части последнего равенства на число измерений  $n$ , получим

$$\bar{x} = \tilde{x} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (11)$$

$$\text{где } \tilde{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \text{ или } \tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Величина  $\tilde{x}$  называется **средним арифметическим**.

Из симметрии кривой Гаусса видно, что при большом числе экспериментов вероятность получить значение больше истинного на  $\Delta$  такая же, как вероятность значения меньше истинного на  $\Delta$  (вероятности положительных и отрицательных абсолютных погрешностей равны).

$$\text{Тогда } \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \right) = 0 ,$$

т.е. среднее значение абсолютной случайной погрешности при большом числе экспериментов ( $n \rightarrow \infty$ ) стремится к нулю. Следовательно, если число измерений достаточно велико ( $n \rightarrow \infty$ ), а случайная величина  $x$  подчиняется распределению Гаусса, то  $\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{x} = \bar{x}$ .

Дисперсия  $\sigma^2$  в распределении Гаусса показывает среднеквадратичный разброс измерений, а среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  пропорционально величине доверительного интервала для заданной доверительной вероятности  $\alpha$ . По определению дисперсии  $\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (\bar{x} - x)^2 f(x) dx$ , при  $n \rightarrow \infty$ .

Для конечного количества измерений  $n$  согласно теории вероятности и математической статистике

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + \dots + (\bar{x} - x_n)^2}{n}} .$$

Так как  $\bar{x} = \tilde{x}$  (при  $n \rightarrow \infty$ ), то среднеквадратичное отклонение мож-

$$\text{но записать } \tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(\tilde{x} - x_1)^2 + (\tilde{x} - x_2)^2 + \dots + (\tilde{x} - x_n)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} .$$

При большом числе измерений ( $n \rightarrow \infty$ )  $\tilde{\sigma} = \sigma$ . Тогда величина доверительного интервала  $\Delta x = k_\alpha \sigma$  при  $n \rightarrow \infty$  равна  $\Delta \tilde{x} = k_\alpha \tilde{\sigma}$  и пропорциональна  $\tilde{\sigma}$  для данной доверительной вероятности  $\alpha$ . Следовательно, говорят, что измеряемая физическая величина имеет значение в интервале  $\tilde{x} = k_\alpha \tilde{\sigma}$  (или  $\tilde{x} \pm \Delta \tilde{x}$ ) с доверительной вероятностью  $\alpha$ . При этом истинное значение измеряемой величины равно  $\bar{x} = \tilde{x}$ .

Тогда результаты серии измерений физической величины  $x$  записывают в виде  $x = \tilde{x} \pm \Delta \tilde{x}$  с доверительной вероятностью  $\alpha$ .

Причем выбор доверительного интервала (случайной погрешности многократных измерений) в виде  $\Delta\tilde{x} = k_\alpha\tilde{\sigma}$  предполагает, что количество измерений велико  $n > 50$ . Тогда можно воспользоваться распределением Гаусса (см. табл. 3.1).

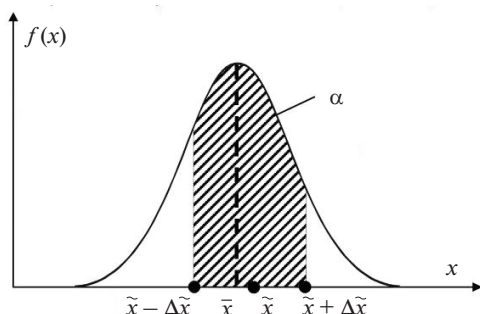


Рис. 3.6. Расположение истинного и среднего арифметического значений измеряемой величины при небольшом числе измерений

Если число измерений физической величины невелико, то истинное значение измеряемой величины  $x_0 = \bar{x}$  отличается от среднего арифметического  $\bar{x}$ . На рис. 3.6 приведен пример расположения истинного  $\bar{x}$  и среднего арифметического  $\bar{x}$ , полученного из небольшого числа измерений.

При малом числе  $n$  измерений для определения доверительного интервала  $\Delta x$  по вероятности  $\alpha$  пользоваться распределением Гаусса нельзя. При рядовых инженерных и исследовательских работах обычно  $n < 10$ .

### Распределение Стьюдента

При числе измерений  $2 < n < 10$  доверительный интервал определяется с помощью распределения Стьюдента.

Пусть в результате  $n$  измерений случайной величины  $x$ , подчиняющейся нормальному распределению с параметрами  $\bar{x}$  и  $\sigma$ , получены различные значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Английский математик и химик В. С. Госсет (псевдоним Стьюдент) в 1908 году рассмотрел случайную величину вида  $t = \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\tilde{\sigma}}$ , где

$\tilde{\sigma}$  — среднеквадратичное отклонение результатов измерений от среднего арифметического  $\tilde{x}$  в данной серии из  $n$  измерений.

Значения  $\tilde{x}$  и  $\tilde{\sigma}$  зависят от числа измерений  $n$ . Поэтому при числе  $n_1$  измерений величина  $t$  принимает числовое значение  $t_1$ , при  $n_2$  — значение  $t_2$  и т. д. Стьюдент получил закон распределения (плотность вероятности)  $S_n(t)$  случайной величины  $t$ . Это некоторая математическая функция от  $n$  и  $t$ . Закон Стьюдента — это закон распределения оши-

бок измерений нормальных (гауссовских) случайных величин. Эта функция (плотность вероятности) имеет максимум при  $t=0$ , когда  $\bar{x} = \bar{\bar{x}}$ . На рис. 3.7 приведено распределение Стюдента.

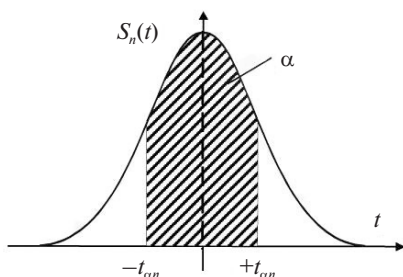


Рис. 3.7. Стандартное распределение Стюдента

Интервалу значений величины  $x$ , симметричному относительно  $\bar{x}$ , соответствует интервал значений переменной  $t$ , симметричный относительно нуля. Обозначим вероятность того, что величина  $t$  принимает значение из некоторого интервала от  $-t_{\alpha n}$  до  $+t_{\alpha n}$ , через  $\alpha$  (заштрихованная площадь на рис. 3.7). Если при некотором числе измерений  $n$  задать значение доверительной вероятности  $\alpha$ , то, используя функцию  $S_n(t)$ , можно рассчитать границы соответствующего симметричного интервала  $t_{\alpha n}$ , который зависит от  $\alpha$  и  $n$ ,  $\alpha = \int_{-t_{\alpha n}}^{+t_{\alpha n}} S_n(t) dt$ .

Значения  $t_{\alpha n}$  называют **коэффициентами Стюдента**, это табличные данные — например табл. 3.2 — для разных значений доверительной вероятности  $\alpha$  и количества  $n$  измерений.

Таблица 3.2

Коэффициенты Стюдента (часть полной таблицы)

Число измерений $n$	Значения доверительной вероятности $\alpha$		
	0,90	0,95	0,999
2	6,31	12,7	636,6
3	2,92	4,30	31,6
4	2,35	3,18	12,9
5	2,13	2,78	8,61
6	2,02	2,57	6,37
7	1,94	2,45	5,96
8	1,89	2,36	5,41
9	1,86	2,31	5,04
10	1,83	2,26	4,78
$\infty$		1,96	3

Для известного числа опытов  $n$  и доверительной вероятности  $\alpha$  определим коэффициент Стюдента  $t_{\alpha n}$ , который соответствует мак-



симальному отклонению среднего арифметического от истинного значения. Максимальное отклонение  $\tilde{x}$  от  $\bar{x}$  равно длине доверительного интервала  $\Delta x$ . Тогда на основании определения величины

$$t = \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\tilde{\sigma}} \text{ получим } t = \frac{\bar{x} - \tilde{x}}{\tilde{\sigma}} \Big|_{\max} = \frac{\Delta \tilde{x}}{\tilde{\sigma}} \Rightarrow \Delta \tilde{x} = t_{\alpha n} \tilde{\sigma}.$$

Здесь  $\Delta \tilde{x}$  — граница доверительного интервала для непрерывной случайной величины  $x$ , подчиняющейся нормальному распределению, при небольшом числе  $n$  измерений и при данной доверительной вероятности  $\alpha$ ;  $t_{\alpha n}$  — коэффициент Стьюдента для  $n$  измерений при доверительной вероятности  $\alpha$ ;  $\tilde{\sigma}$  — среднеквадратичное отклонение результатов измерений от среднего арифметического  $\tilde{x}$  в данной серии измерений.

В пределе при  $n \rightarrow \infty$  распределение Стьюдента переходит в нормальное (распределение Гаусса). Практически при одинаковой доверительной вероятности  $\alpha$  коэффициенты  $t_{\alpha n}$  и  $k_{\alpha}$  совпадают уже при  $n \geq 50$ .

Таким образом, случайную погрешность (доверительный интервал)  $\Delta \tilde{x}$  при малом числе измерений следует вычислять, используя коэффициент Стьюдента  $t_{\alpha n}$ ,  $\Delta \tilde{x} = t_{\alpha n} \tilde{\sigma}$ .

Итак, изложенные выше рассуждения проводились для определения случайной погрешности прямых многократных измерений. Подчеркнем это, обозначив доверительный интервал через  $\Delta \tilde{x}_{cl}$ .

Итак, для оценки случайной погрешности прямых многократных измерений некоторой физической величины  $x$  необходимо выполнить следующие расчеты:

1. Оценить среднее арифметическое значение результатов измерений  $\tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ .

2. Вычислить среднеквадратичное отклонение

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(\tilde{x} - x_1)^2 + (\tilde{x} - x_2)^2 + \dots + (\tilde{x} - x_n)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x} - x_i)^2}{n(n-1)}}.$$

3. Выбрать доверительную вероятность  $\alpha = 0,95$  (если не оговорено условиями специально).

4. По таблице определить коэффициент Стьюдента  $t_{\alpha n}$ .

5. Определить доверительный интервал (погрешность серии многократных измерений)  $\Delta \tilde{x}_{cl} = t_{an} \tilde{\sigma}$ .

6. Записать результат в виде:  $x = \tilde{x} \pm \Delta \tilde{x}_{cl}$  с доверительной вероятностью  $\alpha$ .

### 3.7. Погрешность однократных измерений

В научных исследованиях и экспериментально не всегда можно провести многократные измерения одной и той же величины. Это может быть связано как с техническими, так и экономическими причинами. Но оценить точность (погрешность) измерений необходимо, поскольку при единичных (однократных) измерениях также существует определенная вероятность получить неточный результат. Эта вероятность связана, в частности, с точностью используемых измерительных приборов и одинакова для всех измеряемых данным прибором физических величин. Следовательно, при однократных измерениях случайная величина подчиняется равномерному распределению.

#### Равномерное распределение случайных величин

При равномерном распределении различные значения случайной величины появляются с одинаковой вероятностью. Плотность вероятности  $f(x)$  случайной величины  $x$  имеет постоянное значение в некотором интервале  $(a, b)$  и равна нулю вне этого интервала (рис. 3.8).

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < a \\ \frac{1}{b-a}, & \text{при } a < x < b \\ 0, & \text{при } x > b \end{cases}$$

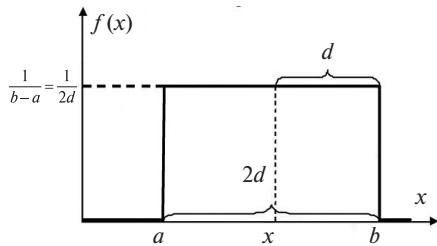


Рис. 3.8. Плотность вероятности случайной величины

Математическое ожидание  $\bar{x}$  для этого закона распределения равно

$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx = \frac{1}{b-a} \int_a^b x dx = \frac{a+b}{2}.$$

Для равномерного распределения условие нормировки записывается в виде 
$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = \frac{1}{b-a} \int_a^b dx = 1.$$

Обозначим длину интервала  $(a, b)$  через  $2d$ :  $b - a = 2d$ . Тогда  $d$  называют **параметром равномерного распределения**. Границы интервала, где плотность вероятности  $f(x)$  отлична от нуля, теперь можно выразить через параметр распределения:  $a = \bar{x} - d$ ,  $b = \bar{x} + d$ , а плотность вероятности  $f(x) = \frac{1}{b-a} = \frac{1}{2d}$  на интервале  $(a, b)$ .

Дисперсия для равномерного распределения равна

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (\bar{x} - x)^2 f(x) dx = \frac{1}{b-a} \int_a^b (\bar{x} - x)^2 dx = \frac{1}{2d} \int_{\bar{x}-d}^{\bar{x}+d} (\bar{x} - x)^2 dx = \frac{d^2}{3}.$$

Среднее квадратичное отклонение  $\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \frac{d}{\sqrt{3}} = 0,577d$ .

Оценим вероятность  $\alpha$  того, что измеряемая величина  $x$  лежит в интервале  $(\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma)$ :

$$\alpha = \int_{\bar{x}-\sigma}^{\bar{x}+\sigma} f(x) dx = \frac{1}{2d} \int_{\bar{x}-\sigma}^{\bar{x}+\sigma} dx = \frac{\sigma}{d} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577 \text{ (или } 57,7 \%).$$

Следовательно, для интервала длиной  $\pm\sigma = \pm 0,577d$  получили вероятность  $\alpha = 57,7 \%$ .

Обратим внимание, что в случае нормального распределения вероятность того, что истинная величина лежит в интервале  $(\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma)$ , равна 68,3 % (см. табл. 3.1), а для равномерного распределения 57,7 %.

Найдем доверительный интервал  $\Delta x$ , в котором с вероятностью 95 % будет находиться значение измеряемой величины. Нетрудно определить, что вероятность получить значение измеряемой величины в интервале  $(\bar{x} - 0,95d, \bar{x} + 0,95d)$  равна 95 %.

Следовательно, чтобы найти доверительный интервал для случайной величины, подчиняющейся равномерному распределению, достаточно умножить величину доверительной вероятности  $\alpha$  на параметр равномерного распределения  $d$ . Доверительный интервал такой величины обозначают  $\Delta \tilde{x}_{oi}$  и называют **погрешностью однократных измерений**. Тогда  $\Delta \tilde{x}_{oi} = 0,95d$ , где  $d$  — параметр равномерного распределения.

Погрешность однократных измерений связана с точностью используемых измерительных приборов. Поэтому параметр равномерного распределения также называют **приборной ошибкой**.

### Способы определения приборных ошибок

Погрешность однократных измерений определяется характеристиками используемых в эксперименте приборов. Основными характеристиками измерительных приборов, влияющими на погрешность выполняемых с их помощью измерений, являются предел измерения и цена деления. Для электроизмерительных приборов важной величиной также является класс точности прибора.

*Предел измерения ( $\Pi$ )* — это максимальное значение величины, которое может быть измерено с помощью данной шкалы прибора. Если предел измерения не указан отдельно, то его определяют по оцифровке прибора.

*Цена деления ( $\mathcal{C}$ )* — значение измеряемой величины, соответствующее самому малому делению шкалы. Если шкала начинается с нуля, то  $\mathcal{C} = \Pi/N$ , где  $N$  — общее количество делений шкалы.

Многие электроизмерительные приборы имеют несколько пределов измерения. При переключении с одного предела на другой изменяется и цена деления прибора.

*Класс точности прибора ( $K$ )* представляет собой отношение абсолютной приборной погрешности  $\delta x$  к пределу измерения шкалы  $\Pi$ , выраженное в процентах:  $K = \frac{\delta x}{\Pi} \cdot 100 \%$ .

Значение класса точности (без символа %) указывается, как правило, на шкале прибора.

Как указывалось ранее, погрешность однократных измерений подчиняется равномерному закону распределения случайных величин и определяется параметром равномерного распределения  $d$ . В зависимости от вида измерительного прибора **параметр равномерного распределения  $d$**  определяется одним из перечисленных ниже способов.

1. Точность измерения (цена деления) указана непосредственно на приборе. Параметр равномерного распределения равен точности прибора  $d = \mathcal{C}$ .

2. На приборе указан класс точности прибора. Из определения класса точности имеем приборную погрешность:  $\delta x = \frac{K \cdot \Pi}{100}$ . Параметр равномерного распределения равен погрешности прибора  $d = \delta x$ .

3. Если на приборе не указаны ни точность измерения, ни класс точности, то в зависимости от характера работы прибора возможны два способа определения параметра равномерного распределения:

- а) указатель значения измеряемой величины может занимать определенные (дискретные) положения, соответствующие делениям шкалы (например, электронные часы, секундомеры и т. п.). Такие приборы являются приборами дискретного действия, и их абсолютная погрешность равна цене деления прибора. Следовательно, параметр равномерного распределения для величины, измеренной этим прибором, равен цене деления прибора  $d = \Pi$ ;
- б) указатель значения измеряемой величины может занимать любое положение на шкале прибора (линейки, рулетки, микрометра, стрелочных весов, термометра и т. п.). В этом случае абсолютная приборная ошибка равна половине цены деления шкалы. Следовательно, параметр равномерного распределения для измеряемой величины равен половине цены деления шкалы прибора  $d = \Pi/2$ .

4. Если какая-либо величина не измеряется в данном опыте, а известно лишь ее значение, то она является заданным параметром. Погрешность заданного параметра принимается равной половине единицы последнего разряда числа, которым задано значение этого параметра.

5. В некоторых экспериментах параметр равномерного распределения необходимо определять опытным путем. Тогда его величина может быть в несколько раз больше цены деления используемого прибора. Например, при измерении больших расстояний малой мерой (линейкой) для получения одного значения прибор прикладывается несколько раз. При каждом применении прибора присутствует погрешность, равная цене деления прибора. Тогда параметр равномерного распределения  $d$  при таких измерениях во столько раз больше цены деления прибора  $\Pi$ , во сколько раз  $k$  его приходилось прикладывать, чтобы измерить одно расстояние:  $d = k\Pi$ .

Итак, если в результате непосредственных (прямых) равноточных измерений некоторой физической величины  $x$  получены значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то оценку погрешности рекомендуется проводить следующим образом:

1. По результатам измерений величины  $x$  определяется среднее арифметическое из  $n$  измерений  $\tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ .

2. Вычисляется среднеквадратичное отклонение результатов измерений от среднего арифметического  $\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x} - x_i)^2}{n(n-1)}}$ .

3. Для доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  и при количестве измерений  $n$  по табл. 3.2 определяется коэффициент Стьюдента  $t_{\alpha n}$ .

4. Рассчитываются границы доверительного интервала (случайная погрешность) для многократных измерений  $\Delta \tilde{x}_{cl} = t_{\alpha n} \tilde{\sigma}$ .

5. Оценивается доверительный интервал (погрешность) однократных измерений  $\Delta \tilde{x}_{oi} = \alpha \cdot d$ , где  $d$  — параметр равномерного распределения, связанный с ценой деления или классом точности измерительного прибора.

6. Определяется общая погрешность серии измерений (доверительный интервал)  $\Delta \tilde{x} = \sqrt{\Delta \tilde{x}_{cl}^2 + \Delta \tilde{x}_{oi}^2}$ .

7. Окончательный результат записывается в виде  $x = \tilde{x} \pm \Delta \tilde{x}$  с доверительной вероятностью  $\alpha$ .

8. Оценивается относительная погрешность результата измерений  $\delta = \frac{\Delta \tilde{x}}{\tilde{x}} \cdot 100 \%$ .

Относительная погрешность позволяет сравнивать неточности измерений величин, имеющих различную размерность.

### 3.8. Погрешность косвенных измерений

В большинстве физических экспериментов представляет интерес физическая величина, которая не измеряется непосредственно каким-либо прибором, а рассчитывается на основе измерения других величин. Искомая величина связана функциональной зависимостью с измеряемыми величинами. В таком случае говорят, что величина измерена косвенным путем или говорят о **косвенных измерениях**.

В этом случае встает задача вычисления погрешности косвенных измерений при условии, что погрешности (границы доверительных интервалов) величин, полученных из прямых измерений, известны.

Пусть при косвенных измерениях значение некоторой величины  $y$  находят по формуле  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , где  $x_1, x_2, \dots, x_m$  — некоторые независимые величины. А для определения независимых величин  $x_1, x_2, \dots, x_m$  были выполнены серии по  $m$  прямым независимым измерениям для каждой.

Среднее значение  $y$  искомой величины находят с помощью функциональной зависимости  $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , в которую подставляют средние значения независимых переменных  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m$ :  $\tilde{y} = f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ .

Необходимо определить абсолютную погрешность  $\Delta \tilde{y}$  искомой величины  $y$  через погрешности измеренных величин  $\Delta \tilde{x}_1, \Delta \tilde{x}_2, \dots, \Delta \tilde{x}_m$ .

Если с помощью известной функциональной зависимости  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$  вычислить значение искомой величины при значениях измеряемых величин  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , отличающихся от средних значений  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m$  на  $\pm \Delta \tilde{x}_1, \pm \Delta \tilde{x}_2, \dots, \pm \Delta \tilde{x}_m$  соответственно ( $x_1 = \tilde{x}_1 \pm \Delta x_1$ ,  $x_2 = \tilde{x}_2 \pm \Delta x_2, \dots, x_m = \tilde{x}_m \pm \Delta x_m$ ), то рассчитанное таким образом значение  $y$  будет отличаться от среднего значения  $y$  на некоторую величину  $\pm \Delta y$ :  $\tilde{y} + \Delta y = f(\tilde{x}_1 \pm \Delta x_1, \tilde{x}_2 \pm \Delta x_2, \dots, \tilde{x}_m \pm \Delta x_m)$ .

Функцию в правой части представим в виде разложения в ряд Тейлора, ограничив его производными первого порядка (принимая, что  $\Delta x_i \ll \tilde{x}_i$ )

$$\tilde{y} + \Delta y = f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m) \pm \frac{df}{d\tilde{x}_1} \Delta x_1 \pm \frac{df}{d\tilde{x}_2} \Delta x_2 \pm \dots \pm \frac{df}{d\tilde{x}_m} \Delta x_m,$$

где  $\frac{df}{d\tilde{x}_i}$  — частная производная функции  $f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$  по  $\tilde{x}_i$ .

Принимая во внимание, что  $\tilde{y} = f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ , получаем

$$\Delta y = \pm \frac{df}{d\tilde{x}_1} \Delta x_1 \pm \frac{df}{d\tilde{x}_2} \Delta x_2 \pm \dots \pm \frac{df}{d\tilde{x}_m} \Delta x_m.$$

Помня, что для любой нормально распределенной случайной величины среднее отклонение от истинного значения (при большом числе измерений  $m \rightarrow \infty$ ) равно нулю, определим средний квадрат отклонения  $\Delta \tilde{y}^2$ . Для этого возведем в квадрат левую и правую части уравнения и усредним по числу измерений (по серии измерений). Учитывая, что среднее значение отклонений  $\Delta x_i$  от среднего значения  $\tilde{x}_i$  по количеству измерений  $\Delta \tilde{x}_i = \lim_{m \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{m} \sum \Delta x_i \right) = 0$ , в правой части останутся только квадратичные по  $\Delta x_i$  слагаемые:

$$\Delta \tilde{y}^2 = \left( \frac{df}{d\tilde{x}_1} \right)^2 \Delta \tilde{x}_1^2 + \left( \frac{df}{d\tilde{x}_2} \right)^2 \Delta \tilde{x}_2^2 + \dots + \left( \frac{df}{d\tilde{x}_m} \right)^2 \Delta \tilde{x}_m^2.$$

Тогда случайная погрешность (доверительный интервал) серии косвенных измерений величины  $y$  будет равна

$$\Delta \tilde{y} = \sqrt{\left(\frac{df}{d\tilde{x}_1}\right)^2 \Delta \tilde{x}_1^2 + \left(\frac{df}{d\tilde{x}_2}\right)^2 \Delta \tilde{x}_2^2 + \dots + \left(\frac{df}{d\tilde{x}_m}\right)^2 \Delta \tilde{x}_m^2}$$

$$\text{или } \Delta \tilde{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{df}{d\tilde{x}_i}\right)^2 \tilde{x}_i^2}.$$

Если функция  $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$  «неудобна» для дифференцирования, полученное выражение для  $\Delta \tilde{y}$  можно записать иначе, воспользовавшись свойствами дифференцирования логарифма. Рассмотрим логарифм функциональной зависимости  $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$   $\ln f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ .

По правилу вычисления производной логарифма можно показать, что

$$\frac{d}{d\tilde{x}_i}(\ln f) = \frac{1}{f} \frac{df}{d\tilde{x}_i}.$$

Учитывая, что  $\tilde{y} = f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ , получим  $\frac{d \ln f}{d\tilde{x}_i} = \frac{1}{f} \frac{df}{d\tilde{x}_i} = \frac{1}{\tilde{y}} \frac{df}{d\tilde{y}_i}$ .

Следовательно,  $\frac{df}{d\tilde{x}_i} = \tilde{y} \frac{d \ln f}{d\tilde{x}_i}$ .

Используя эту взаимосвязь между производной от функции и производной от ее логарифма, полученное ранее выражение для погрешности  $\Delta \tilde{y}$  можно записать в виде:

$$\Delta \tilde{y} = \tilde{y} \sqrt{\left(\frac{d \ln f}{d\tilde{x}_1}\right)^2 \Delta \tilde{x}_1^2 + \left(\frac{d \ln f}{d\tilde{x}_2}\right)^2 \Delta \tilde{x}_2^2 + \dots + \left(\frac{d \ln f}{d\tilde{x}_m}\right)^2 \Delta \tilde{x}_m^2}$$

$$\text{или } \Delta \tilde{y} = \tilde{y} \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{d \ln f}{d\tilde{x}_i}\right)^2 \Delta \tilde{x}_i^2}.$$

Обе формулы справедливы при любых законах распределения величин  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ . Необходимо только, чтобы эти величины были независимыми.



## Погрешность косвенных измерений (выводы)

При обработке результатов косвенных измерений рекомендуется следующая последовательность действий:

1. Преобразуйте формулу, связывающую измеряемые величины с искомой так, чтобы функциональная зависимость содержала все измеряемые величины непосредственно (без промежуточных формул).

2. Выполните оценку погрешности прямых измерений всех непосредственно измеряемых величин, входящих в формулу для искомой величины, с учетом погрешности многократных и однократных измерений. При этом для всех измеряемых величин задается одно и то же значение доверительной вероятности (по умолчанию  $\alpha = 0,95$ ).

3. С помощью средних значений измеряемых величин  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m$  рассчитайте значение искомой величины  $\tilde{y} = f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ .

4. Получите выражение для погрешности косвенных измерений по одной из формул  $\Delta\tilde{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{df}{d\tilde{x}_i} \right)^2 \Delta\tilde{x}_i^2}$  или  $\Delta\tilde{y} = \tilde{y} \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{d \ln f}{d\tilde{x}_i} \right)^2 \Delta\tilde{x}_i^2}$ .

5. Запишите окончательный результат в виде  $y = \tilde{y} \pm \Delta\tilde{y}$  с доверительной вероятностью  $\alpha$ .

6. Определите относительную погрешность искомой величины  $\delta = \frac{\Delta\tilde{y}}{\tilde{y}} \cdot 100 \%$ .

Если по каким-либо причинам данный метод оценки погрешности неприменим, можно вычислить значения  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_m$  по значениям  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ , полученным в каждом из  $m$  опытов отдельно. А затем оценить погрешность как при прямых измерениях:

— найти среднее значение  $\tilde{y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i$ ;

— вычислить среднеквадратичное отклонение  $\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\tilde{y} - y_i)^2}{m(m-1)}}$ ;

— определить коэффициент Стьюдента  $t_{\alpha n}$  для  $\alpha = 0,95$  (если доверительная вероятность не оговорена специально);

— рассчитать погрешность (доверительный интервал) искомой величины  $\Delta\tilde{y} = t_{\alpha n} \cdot \tilde{\sigma}$ .

Результат также записать в виде:  $y = \tilde{y} \pm \Delta\tilde{y}$  при доверительной вероятности  $\alpha$ .

### 3.9. Представление результатов экспериментов с учетом погрешности

---

В зависимости от погрешности измерений цифры в числе, полученном из экспериментальных исследований, подразделяют на верные (заслуживающие доверия) и неверные. Цифра в числе считается *верной*, если погрешность не превосходит половины разряда, в котором расположена данная цифра. Например, в числе 15,246, полученном из эксперимента с погрешностью 0,5, верными считаются все цифры, используемые для записи целой части числа, а также цифра 2 из дробной части. Цифры 4 и 6 в этом случае — неверные (не заслуживающие доверия).

Десятичная запись одних и тех же полученных результатов может быть выполнена по-разному (например, 0,0018 и  $1,8 \cdot 10^{-3}$ ). Для корректного сравнения различных экспериментальных результатов вводят понятие **значащей цифры** в записи результата.

Все цифры от 1 до 9 и нуль, если он стоит в середине или в конце числа, называются **значащими**. В числе 4700 — четыре значащих цифры, а в числе  $4,7 \cdot 10^3$  только две, в числе 0,00311 — три, так как нули слева от тройки незначащие. Запись числа 4,25 означает, что в данном числе три значащие цифры, а запись 4,2500 — что значащих цифр пять; если это число записать в виде 4,25, то останется только три значащих цифры.

Когда информация о погрешности экспериментальных данных отсутствует, по количеству значащих цифр в числе определяют точность вычисления или измерений. В числе 5,70 три значащих цифры, и это значит, что при измерении учитывали не только единицы, но и десятые, и сотые; в числе 5,7 — только две значащих цифры, и это значит, что учитывали только целые и десятые и точность этого числа в 10 раз меньше.

Приближенные вычисления результата косвенных измерений без учета погрешностей

Ошибка результата определяется не только неточностями измерений, но и неточностями вычислений. Любое округление результата

представляет собой систематическую погрешность. Поэтому вычисления необходимо проводить так, чтобы погрешность округления результата вычислений была на порядок меньше случайной погрешности результата измерений. Но вычисления выполняются прежде, чем получена оценка погрешности. Поэтому для выполнения этого условия **все вычисления в экспериментальных исследованиях следует производить с числом значащих цифр, превышающих на единицу число значащих цифр, полученных при измерениях.** Это позволяет в дальнейшем выполнить правильное округление результата с учетом погрешности.

### Правила округления при записи результата измерений

При округлении результата прямых или косвенных измерений получается приближенное **значение измеряемой величины.** Для записи значения используют только верные цифры. Неверные цифры отбрасывают, руководствуясь следующими правилами округления:

1. Если первая отбрасываемая цифра меньше 5, то последняя сохраняемая цифра не изменяется.

Если первая из отбрасываемых цифр больше 5, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу. Последняя сохраняемая цифра увеличивается также и в том случае, когда первая из отбрасываемых цифр 5, а за ней есть одна или несколько цифр, отличных от нуля. Например, при округлении числа 24,757 можно получить: 25; 24,8; 24,76.

Если отбрасываемая цифра 5, а за ней нет значащих цифр, то округление производится до ближайшего четного числа, т. е. последняя сохраняемая цифра остается неизменной, если она четная, и увеличивается на единицу, если она нечетная. Например, 0,235 округляем до 0,24; а 0,263 округляем до 0,26.

### Правила округления при математических действиях

1. При **сложении и вычитании** в окончательном результате сохраняют столько десятичных знаков, сколько их содержится в числе с наименьшим количеством десятичных знаков.

Например:  $23,2 + 0,44 + 7,247 \approx 23,2 + 0,44 + 7,25 = 30,89 \approx 30,9$ .

2. При **умножении и делении** в окончательном результате следует сохранить столько значащих цифр, сколько их имеет число с наименьшим числом значащих цифр. Например:  $30,9 \times 3,8364 = 118,54476 \approx 119$ .

Исключение из правила допускается в тех случаях, когда один из сомножителей начинается с единицы, а сомножитель, имеющий наименьшее количество цифр, — с любой другой цифры. В этом случае в результате сохраняют на одну цифру больше, чем в числе с наименьшим количеством значащих цифр. Например:  $30,9 \times 1,8364 = 56,74476 \approx 56,74$ .

3. В результате расчета значений **функций** вида  $x_n$ ,  $\sqrt[n]{x}$ ,  $\ln x$  результат должен содержать столько значащих цифр, сколько их имеет аргумент  $x$ .

Например:  $(11,38)^2 = 129,5044 \approx 129,5$ .

4. При вычислении **промежуточных результатов** сохраняют на одну цифру больше, чем предусмотрено пунктами 1–3. В окончательном результате эта дополнительная цифра отбрасывается по правилам записи окончательного результата или по правилам записи результата с учетом погрешности. Это делается для того, чтобы уменьшить систематическую ошибку при вычислениях.

Например, при вычислении среднего арифметического  $x$  некоторой физической величины по результатам  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  измерений рассчитанное значение должно содержать после запятой на одну цифру больше, чем в исходных данных.

Этот принцип позволяет при изучении периодически повторяющихся процессов в некоторых случаях уменьшить погрешность измерений. Например, если процесс повторяется во времени, то измеряют время, за которое процесс повторится несколько (больше одного) раз. Затем вычисляют время, за которое процесс произошел один раз, при записи результата сохраняют после запятой на одну цифру больше, чем в измеренном прибором времени. В результате точность определения времени, за которое процесс произошел один раз, возрастает.

### Запись результата измерений с учетом погрешности измерений

При записи результата прямых или косвенных измерений с учетом погрешности необходимо соблюдать следующие правила:

**1. Величину погрешности** (доверительного интервала) необходимо округлить до второй (слева направо) значащей цифры, если первая из них единица, и до первой значащей цифры во всех остальных случаях.

**2. Результат измерений** (среднее значение величины, полученное в результате прямых или косвенных измерений) необходимо округлить до того же разряда, что и погрешность. Число значащих цифр окончательного результата определяется порядком величины абсолютной погрешности (доверительного интервала).

Например: результат измерений 24,736 получен с погрешностью 0,045. Тогда окончательный результат запишем в виде  $24,74 \pm 0,04$ .

Следует заметить, что когда в расчетах используются табличные данные (без указания погрешностей), то обычно считается, что погрешность этой величины составляет половину разряда последней значащей цифры (это параметр  $d$  для равномерного распределения ошибки округления).

### Обработка экспериментальных зависимостей

Следует отметить, что одной из типичных задач, решаемых в эксперименте, является выявление функциональных зависимостей между различными физическими величинами, характеризующими изучаемое явление или объект. Как правило, исследованные зависимости представляют либо в аналитическом виде, либо в виде графиков.

### Графическое представление результатов эксперимента

Графическое представление результатов обладает большой наглядностью и информативностью. Графики экспериментальных зависимостей позволяют легко визуально определять характер зависимости, судить о величине разброса экспериментальных данных по сравнению с предсказаниями теории и т. д.

Отличительной особенностью графиков, изображающих физические зависимости, является размерный характер отложенных по осям величин.

Для того чтобы графики, построенные при выполнении лабораторных работ, были максимально информативными, необходимо соблюдать определенные правила их построения.

### Основные требования, предъявляемые к построению графиков

1. Графики строят на **бумаге** с помощью линейки и карандаша либо специальных компьютерных программ для построения графиков (например, MS Excel, Origin, Mathematica и др.). Готовый график должен быть вложен или вставлен в отчет по учебной исследовательской или выпускной квалификационной работе.

2. На **координатных осях** должны быть указаны обозначения откладываемых величин и единицы их измерения.

3. **Начало координат** при необходимости может не совпадать с нулевыми значениями величин. Его выбирают таким образом, чтобы поверхность бумаги была использована максимально.

4. **Экспериментальные точки** изображаются четко и крупно в виде кружков, крестиков, разноцветных точек и т. п.

5. **Масштабные деления на координатных осях** следует наносить равномерно. Координаты экспериментальных точек на осях не указывают, а линии, определяющие эти координаты, не проводят.

6. **Масштаб** выбирают таким образом, чтобы:

- кривая была равномерно растянута вдоль обеих осей (если график представляет собой прямую, то угол ее наклона к осям должен быть близок к  $45^\circ$ );
- положение любой точки можно было определить легко и быстро. Масштаб считается удобным, если в одном масштабном делении (миллиметре или сантиметре), нанесенном на оси графика, содержится одна или две (пять, десять, пятьдесят и т. д.) единицы измеренной величины.

7. Учитывая, что экспериментальные данные содержат определенную случайную погрешность, **кривую (прямую)**, изображающую экспериментальную зависимость, следует проводить не по точкам, а между ними — так, чтобы количество точек по обе стороны от нее было одинаковым. Кривая должна быть плавной.

8. На графике необходимо **отложить погрешность измерения** величин (доверительный интервал). Делается это с помощью вертикальных или горизонтальных отрезков, симметрично расположенных относительно экспериментальных точек.

На рис. 3.9 приведены примеры изображения погрешности измерения на графиках некоторых физических зависимостей  $y_1 = f(x_1)$ ,  $y_2 = f(x_2)$ . В пределах погрешности эксперимента по экспериментальным данным можно провести несколько кривых, проходящих достаточно близко к опытным точкам.

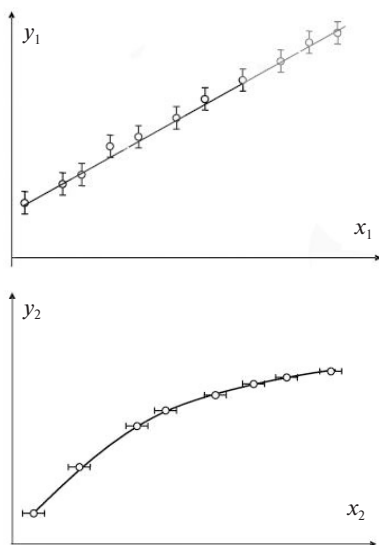


Рис. 3.9. Примеры изображения погрешности измерения на графиках

## 4. Защита ОНИиИТ

---

**З**ащита исследовательской работы производится перед комиссией, назначаемой заведующим кафедрой. На защиту предъявляется отчет по ОНИиИТ или НИР, подписанный студентом и руководителем исследовательской работы, и другие необходимые для защиты материалы. Доклад должен длиться не более 10 минут и содержать постановку задачи, методы ее решения, результаты и выводы. Текст доклада рекомендуется подготовить заранее. После доклада студент отвечает на вопросы комиссии.

Для оценки ОНИиИТ или НИР используются следующие критерии:

- степень полноты проработки научно-технической литературы и патентных материалов;
- уровень и корректность использования в работе расчетов и моделирования;
- степень комплексности ОНИиИТ или НИР, применение в ней знаний естественнонаучных, общепрофессиональных и специальных дисциплин;
- ясность, четкость, последовательность и обоснованность изложения;
- применение современного математического и программного обеспечения и компьютерных технологий;
- качество оформления отчета (общий уровень грамотности, стиль изложения, качество иллюстраций, соответствие требованиям стандартов);
- объем и качество графических материалов.

Лучшие исследовательские работы рекомендуются кафедрой для участия в смотрах, конкурсах, конференциях и т. д.

## Библиографический список

---

1. Электронная библиотека РФФИ и ФНМ [электронный ресурс]: Научная электронная библиотека. М., 2000–2013. URL: [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru), свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России (ГПНТБ России) [электронный ресурс]: ГПНТБ России. М., 1995–2013. URL: <http://www.gpntb.ru>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
3. Электронная библиотека «Материаловедение сегодня» [электронный ресурс]: Elsevier Ltd. 2013. URL: <http://www.materialstoday.com>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
4. Электронная библиотека Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ) [электронный ресурс]: ВИНИТИ. М., 2004–2013. URL: <http://www.viniti.ru>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
5. Федеральный институт промышленной собственности [электронный ресурс]. ФИПС. М., 2013. URL: [www.fips.ru](http://www.fips.ru), свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
6. ГОСТ 7.9–95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования. — Взамен ГОСТ 7.9–77; введен 1997–07–01. — М.: Стандартинформ, 2009. — 6 с. — (Межгосударственный стандарт).
7. ГОСТ 7.12–93 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила. — Взамен ГОСТ 7.12–77; введен 1995–07–01. — М.: Стандартинформ, 2001. — 15 с. — (Межгосударственный стандарт).
8. ГОСТ 2.105–95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. — Взамен ГОСТ 2.105–79, 2.906–71; введен 1996–07–01. — М.: Стандартинформ, 2005. — 30 с. — (Межгосударственный стандарт).
9. ГОСТ 7.0–9. Информационно-библиотечная деятельность, библиография. Термины и определения. — Взамен ГОСТ 7.0–4,



- ГОСТ 7.26–0; введен 2000–7–1. — М.: Изд-во стандартов, 2000. — 65 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу)
10. ГОСТ 8.417–002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. — Взамен ГОСТ 8.417–1; введен 2003–9–1. — Минск: Изд-во стандартов, 2002. — 70 с. — (Межгосударственный стандарт).
11. ГОСТ Р 7.0.3–006. Издания. Основные элементы. Термины и определения. — Введен с 2007–1–1. — М.: Стандартиформ, 2006. — 113 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
12. ГОСТ Р 7.0.5–008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. — Введен с 2009–1–1. — М.: Изд-во стандартов, 2008. — 19 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
13. ГОСТ 7.1–003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. — Взамен ГОСТ 7.1–84, ГОСТ 7.16–9, ГОСТ 7.18–9, ГОСТ 7.34–1, ГОСТ 7.40–2; введен 2004–7–1. — М.: Изд-во стандартов, 2004. — 48 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
14. ГОСТ 7.12–3. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила составления. — Взамен ГОСТ 7.12–7; введен 1995–7–1. — Минск: Изд-во стандартов, 1996. — 7 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
15. ГОСТ 7.82–001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления. — Введен 2002–7–1. — М.: Изд-во стандартов, 2002. — 45 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
16. ГОСТ 7.83–001. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения. — Введен 2002–7–1. — М.: Изд-во стандартов, 2002. — 21 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
17. ГОСТ 7.32–001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. — Взамен ГОСТ 7.32–1; введен 2002–7–01. — М.: Изд-во стандартов, 2001. — 22 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).

18. ГОСТ 7.60–003. Издания. Основные термины. Термины и определения. — Взамен ГОСТ 7.60–0; введен 2004–7–1. — М.: Изд-во стандартов, 2004. — 110 с. — (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
19. Научные работы: Методика подготовки и оформления/Автор-составитель И. Н. Кузнецов. — 2-е изд., переработ. и дополненное. — М.: Амалфея, 2000. — 120 с.
20. Папковская П. Я. Методология научных исследований: курс лекций / П. Я. Папковская. — М.: ООО «Информпресс», 2002. — 120 с.
21. Эхо Ю. Письменные работы в вузах. Практическое руководство для всех, кто пишет дипломные, курсовые, контрольные, доклады, рефераты, диссертации / Ю. Эхо. — 3-е изд. — М.: ИНФРА, 2000. — 127 с.
22. ГОСТ Р 8.736–2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения». — Введен впервые, введен 2013–01–01. — М.: Стандартиформ, 2013. — 25 с.
23. Метрология. Стандартизация. Сертификация : учебник для студентов вузов/А. В. Архипов [и др.]; под ред. В. М. Мишина. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. — 495 с.
24. Баталин Б. С. Метрология, стандартизация, сертификация в материаловедении: учебное пособие/Б. С. Баталин. — Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. — 448 с.
25. ГОСТ 5725–2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. — Введен 2002–04–23. — М.: Изд-во стандартов, 2002. — 108 с.





*Учебное издание*

**ОСНОВЫ  
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
И ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА  
(Учебно-исследовательская  
и научно-исследовательская  
работа студента)**

Составители  
**Земляной Кирилл Георгиевич**  
**Павлова Ирина Аркадьевна**

Редактор *Н. П. Кубыщенко*  
Верстка *О. П. Игнатьевой*

Подписано в печать 27.01.2015. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага писчая. Плоская печать. Гарнитура Newton.  
Уч.-изд. л. 4,0. Усл. печ. л. 4,25. Тираж 120 экз.  
Заказ 19.

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: 8 (343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: 8 (343) 358-93-06  
E-mail: press-urfu@mail.ru

